

**Die Untersuchung von Verfahren zur Diagnostik  
auditiver Verarbeitungs- und  
Wahrnehmungsstörungen hinsichtlich ihrer  
Aussage- und Diskriminationsfähigkeit**

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von  
Johanna Wittke  
geboren am 26.12.1983 in Schlüchtern

### **Gutachter**

1. Prof. Dr. med. Sven Koscielny, Jena
2. Prof. Dr. med. Hilmar Gudziol, Jena
3. Prof. Dr. med. Rainer Müller, Dresden

**Tag der öffentlichen Verteidigung: 31.07.2012**

*Meinen Eltern zum Dank*

## Abkürzungsverzeichnis

AVWS	auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung
ADHS	Aufmerksamkeitsdefizit- und Hyperaktivitätssyndrom
ASHA	American Speech-Language-Hearing Association
BDP	binaurale Differenzpotenziale
BIC	binaurale Interaktionspotenziale, binaural interaction component
BIN	Binaurales Potenzial
BLDT	Bremer Lautdifferenzierungstest
CAPD	Central auditory processing disorders; zentrale auditive Verarbeitungsstörungen
CSHA	California Speech-Language-Hearing Association
dB	Dezibel
DGPP	Deutsche Gesellschaft für Pädaudiologie und Phoniatrie
EEG	Elektroenzephalogramm
EKP	Ereigniskorrelierte Potenziale
FN	Falsch negativ; Kranke Patienten, bei denen das Testergebnis unauffällig ausfällt
FP	Falsch positiv; Gesunde Patienten, bei denen das Testergebnis pathologisch ausfällt
H-LAD	Heidelberger Lautdifferenzierungstest
ICD-10	Internationale Klassifikation der Krankheiten; International Classification of Diseases, 10. Revision
K-ABC	Kaufmann Assessment Battery for Children
LRS	Lese-Rechtschreib-Störung
MAUS	Münchener Auditiver Screeningtest für Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen
MMN	Mismatch negativity

MON	monaurale Potenziale
NPV	“Negative predictive value”; negativer Vorhersagewert
N. VIII	Nervus vestibulocochlearis, 8. Hirnnerv
OAE	otoakustische Emissionen
PATSY	Psychoakustisches Testsystem
PET	psycholinguistischer Entwicklungstest
Phon	Phoneme
PPV	„positive predictive value“; positiver Vorhersagewert
RN	Richtig negativ; gesunde Patienten mit einem unauffälligen Testergebnis
RP	Richtig positiv; Kranke Patienten, bei denen der Test auch pathologisch ausfällt
SD	Standardabweichung
T1	Töne 1.Messung
T2	Töne 2. Messung
ZN	Zahlen nachsprechen; Subtest des K-ABC

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	<b>11</b>
2.1	Hinführung zum Thema und Ziele der Arbeit	11
2.2	Das akustische System	12
2.2.1	Das periphere Hörsystem	12
2.2.2	Das zentrale Hörsystem und die zentrale Verarbeitung akustischer Informationen	13
2.2.3	Leistungen der zentralen auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung	14
2.3	Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung	15
2.3.1	Definition AVWS	15
2.3.2	Ätiologie und Pathogenese der AVWS	16
2.3.3	Einteilung nach Lokalisationen	17
2.3.4	Prävalenz	17
2.3.5	Symptome einer AVWS	18
2.3.6	AVWS in Verbindung mit anderen Krankheiten	20
2.3.6.1	AVWS und Aufmerksamkeitsstörungen	20
2.3.6.2	AVWS und Sprachentwicklungsstörungen	21
2.3.6.3	AVWS und Lese-Rechtschreib-Schwäche	22
2.3.7	Diagnostik der AVWS	23
2.3.7.1	Anforderungen an die diagnostischen Verfahren und das Testmaterial	23
2.3.7.2	Ein- und Ausschlusskriterien für die AVWS Diagnostik	24
2.3.7.3	Schwierigkeiten in der AVWS-Diagnostik	24
2.3.7.4	Diagnostische Untersuchungsmethoden	26
2.3.7.4.1	Objektive Testmethoden	26
2.3.7.4.1.1	Messung der binauralen Fusion	26
2.3.7.4.1.2	Messung der Mismatch Negativity	29
2.3.7.4.2	Subjektive Testmethoden	31
2.3.7.4.2.1	Richtungshören	31
2.3.7.4.2.2	Hören im Störschall	32
2.3.7.4.2.3	PATSY	33
2.3.7.4.2.4	Dichotischer Hörtest nach Uttenweiler	33
2.3.7.4.2.5	Lautdiskriminationstest	34
2.3.7.4.2.6	Mottier-Test	35
2.3.7.4.2.7	K-ABC Zahlen nachsprechen	35
2.3.7.4.2.8	PET Wörter ergänzen	36
2.3.7.4.2.9	MAUS Test	36
<b>3</b>	<b>Methodik</b>	<b>38</b>
3.1	Patientenkollektiv	38
3.2	Statistische Auswertung	39
3.3	Objektive Testmethoden	40
3.3.1	Messung der binauralen Fusion	40
3.3.2	Messung der Mismatch Negativity	40

<b>3.4</b>	<b>Subjektive Testmethoden</b>	<b>42</b>
3.4.1	Richtungshören	42
3.4.2	Hören im Störschall	42
3.4.3	PATSY	43
3.4.4	Dichotischer Hörtest nach Uttenweiler	43
3.4.5	Lautdiskriminationstest	44
3.4.6	Mottier-Test	44
3.4.7	K-ABC Zahlen nachsprechen	44
3.4.8	PET Wörter ergänzen	45
3.4.9	MAUS Test	45
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Objektive Testmethoden</b>	<b>46</b>
4.1.1	Messung der binauralen Fusion	46
4.1.2	Messung der Mismatch Negativity	49
<b>4.2</b>	<b>Subjektive Testmethoden</b>	<b>51</b>
4.2.1	Richtungshören	51
4.2.2	Hören im Störschall	52
4.2.3	PATSY	53
4.2.4	Dichotischer Hörtest nach Uttenweiler	55
4.2.5	Lautdiskriminationstest	56
4.2.6	Mottier-Test	57
4.2.7	K-ABC Zahlen nachsprechen	58
4.2.8	PET Wörter ergänzen	59
4.2.9	MAUS Test	60
4.2.10	Korrelation von Richtungshören und binauraler Fusion	64
4.2.11	Zusammenfassung der statistischen Ergebnisse	66
<b>4.3</b>	<b>Diskriminationsanalyse aller Testverfahren</b>	<b>67</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>69</b>
<b>5.1</b>	<b>Objektive Testmethoden</b>	<b>69</b>
5.1.1	Messung der binauralen Fusion	69
5.1.2	Messung der Mismatch Negativity	72
<b>5.2</b>	<b>Subjektive Testmethoden</b>	<b>75</b>
5.2.1	Richtungshören	75
5.2.2	Hören im Störschall	76
5.2.3	PATSY	77
5.2.4	Dichotischer Hörtest nach Uttenweiler	79
5.2.5	Lautdiskriminationstest	80
5.2.6	Mottier-Test	81
5.2.7	K-ABC Zahlen nachsprechen	82
5.2.8	PET Wörter ergänzen	84
5.2.9	MAUS Test	84
<b>5.3</b>	<b>Korrelation von Richtungshören und binauraler Fusion</b>	<b>86</b>
<b>5.4</b>	<b>Diskriminationsanalyse aller Testverfahren</b>	<b>87</b>

<b>6</b>	<b><i>Schlussfolgerung</i></b>	<b>90</b>
<b>I.</b>	<b><i>Literaturverzeichnis</i></b>	<b>92</b>
<b>II.</b>	<b><i>Anhang</i></b>	<b>104</b>
<b>a.</b>	<b><i>Abbildungsverzeichnis</i></b>	<b>104</b>
<b>b.</b>	<b><i>Tabellenverzeichnis</i></b>	<b>106</b>
<b>c.</b>	<b><i>Lebenslauf</i></b>	<b>108</b>
<b>d.</b>	<b><i>Ehrenwörtliche Erklärung</i></b>	<b>110</b>
<b>e.</b>	<b><i>Danksagung</i></b>	<b>111</b>



# 1 Zusammenfassung

## Einleitung

Immer häufiger kommen Kinder in eine Praxis oder Klinik, bei denen der Verdacht auf eine auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung im Raum steht. Zentrale Prozesse des Hörens sind bei diesem Krankheitsbild gestört. Kinder fallen durch schlechte Schulleistungen auf, sie können sich schwer konzentrieren oder befolgen Aufforderungen nicht korrekt. Zur Diagnostik der AVWS werden in Deutschland bisher verschiedene Methoden eingesetzt, die sowohl objektive als auch subjektive Tests umfassen. Bisher konnte jedoch keinen Standard identifiziert werden, um AVWS valide und effizient zu diagnostizieren. Diese Arbeit wertet verschiedene Testverfahren aus, die an einem Patientenkollektiv angewandt wurden. Es wird überprüft, welche Untersuchung eine Aussage bezüglich dieser Erkrankung leisten kann und welcher Test effizient zwischen erkrankten und unauffälligen Kindern diskriminiert.

## Methodik

Es wurden Untersuchungsergebnisse von 77 Patienten im Alter von 6–15 Jahren retrospektiv ausgewertet, die sich von Nov. 2003 - Juli 2008 in der Pädaudiologie und Phoniatrie der Universitätsklinik Jena vorgestellt hatten. Die Gruppen gliedern sich in 32 Kinder mit AVWS und 45 Kinder, bei denen eine AVWS ausgeschlossen worden war. Die Diagnose AVWS war gestellt worden, wenn mindestens ein objektiver und ein subjektiver Test pathologisch ausgefallen waren. Die verschiedenen Untersuchungsmethoden wurden in einen objektiven und einen subjektiven Teil eingeteilt.

*Objektive Methoden:* binaurale Fusion, Mismatch Negativity

*Subjektive Methoden:* Richtungshören, Hören im Störschall, PATSY, dichotischer Hörtest nach Uttenweiler, Lautdiskriminationstest, Mottier-Test, K-ABC Subtest Zahlenfolge, PET Subtest Wörter ergänzen, MAUS Test

Die Ergebnisse wurden zwischen den Patientengruppen verglichen und statistisch ausgewertet. Die Korrelation zwischen Richtungshören und binauralen Fusion wurde gesondert betrachtet. Es wurde eine Diskriminationsanalyse aller Testverfahren durchgeführt.

## Ergebnisse und Diskussion

Bis auf die Überprüfung des Richtungshörens wiesen alle Untersuchungen einen signifikanten Unterschied zwischen den Patientengruppen auf. Der Mottier-Test erreichte die höchste Sensitivität von 86%. Er könnte als Ausschlusstest fungieren – liegt ein normales Testergebnis vor, ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Kind an AVWS erkrankt ist, sehr gering. Der K-ABC Zahlen nachsprechen wies die höchste Spezifität von 83%. Er könnte als Bestätigungstest fungieren – bei pathologischem Ergebnis liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit eine AVWS vor. Die MMN Töne 1 oder 2, die beide eine Spezifität von  $\geq 75\%$  aufwiesen, könnten die Diagnose bestätigen. Ist das Diagnosekriterium einer AVWS „mindestens zwei pathologische Ergebnisse in subjektiven Tests“, liegt eine Sensitivität von 94% vor. Führt man also zwei subjektive Untersuchungen durch, die beide unauffällig sind, kann AVWS mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden. Bei dem Diagnosekriterium „mindestens vier subjektive Tests unterdurchschnittlich“ erhält man eine Spezifität von 87%. Zur Bestätigung der Diagnose AVWS sollten demzufolge in mindestens vier durchgeführten, subjektiven Tests jeweils pathologische Ergebnisse vorliegen. Die Rolle der objektiven Untersuchungen im Rahmen der AVWS Diagnostik muss weiter untersucht werden. In der Korrelationsanalyse von binauraler Fusion und Richtungshören ergab sich eine mögliche Überschneidung der Untersuchungen. Weitere Auswertungen bezüglich der Redundanz der Testverfahren sind in Hinblick auf die Ökonomie der AVWS-Diagnostik enorm wichtig. Die Standardisierung der Tests und die Etablierung einer diagnostischen Leitlinie sind dringend notwendig. Nur so kann AVWS einheitlich und sicher diagnostiziert werden. Weiterhin fielen die Subtests der Untersuchungen teilweise sehr unterschiedlich aus, wie man z.B. im PATSY erkennen konnte. Diese Befunde können als Äußerungen der heterogenen Erkrankungsursachen angesehen werden und bestätigen die Tatsache, dass AVWS einen Symptomkomplex zusammenfasst und durch verschiedenste pathologische Prozesse in unterschiedlichsten Ebenen bedingt sein kann. Für die Zukunft wäre zu erwägen, ob man den Begriff AVWS in die Diagnose einer vorwiegenden auditiven Verarbeitungsstörung (auf Hirnstammebene) und ein Defizit der auditiven Wahrnehmung (auf kortikaler Ebene) aufspaltet. Dadurch könnten die verschiedenen Erkrankungsformen einer AVWS eventuell sicherer diagnostiziert und die jeweilige vorwiegende Störung mit einer angepassten Therapie adäquater behandelt werden.

## 2 Einleitung

### 2.1 *Hinführung zum Thema und Ziele der Arbeit*

Die audiologische Diagnostik im Grundschulalter hat sich in den letzten zehn Jahren um neue Krankheitsbilder erweitert. Immer häufiger werden Kinder in der pädaudiologischen und phoniatischen Klinik vorgestellt, da sie in der Schule durch schlechte Leistungen auffallen, sich schlecht konzentrieren können und im Alltag komplexe psychosoziale Auffälligkeiten in Kommunikation und Verhalten zeigen (Hess 2001, Brunner 2007). Hier steht zunehmend der Verdacht auf eine auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung im Raum (Nickisch et al. 2007). Zentrale Prozesse des Hörens sind bei diesem Krankheitsbild fehlerhaft. Es finden sich Störungen in verschiedenen Bereichen der neuronalen Verarbeitung auditiver Prozesse sowie eine gestörte Verarbeitung und Wahrnehmung dieser Informationen in höheren Ebenen (Nickisch et al. 2006). Die pathologischen Prozesse äußern sich z.B. in einer Störung der Lautdiskrimination, der Hörmerkspanne und des Richtungsgehörs oder durch fehlende Möglichkeiten der Schallunterdrückung (Ptok et al. 2000, Berger 2007). Unterschiedliche Tonhöhen oder Zeitmuster können nicht mehr erkannt werden. In lauter Umgebung versteht das Kind Gespräche nur schwer oder gar nicht (Ptok et al. 2000). Ähnliche Phoneme werden schlecht unterschieden oder verwechselt (Vanniassegaram et al. 2004). Als Folge dessen kommt es bei vielen Patienten unter anderem zu emotionaler Verunsicherung und schulischen Problemen (Brunner und Hornberger 2007).

Zur Diagnostik der Auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung werden in Deutschland bisher verschiedene Testmethoden eingesetzt, einige seien an dieser Stelle genannt:

objektive Testverfahren: Hirnstammaudiometrie (Hess 2001), binauraler Fusionstest, Ableitung akustisch evozierter, ereigniskorrelierter Potenziale (Suchodoletz 1999)

subjektive Testverfahren: Schalllokalisation ohne/mit Störschall (Kiese-Himmel und Kruse 2006), Sprachaudiogramm im Störschall (Feldhusen et al. 2004), Überprüfung basaler Hörverarbeitungsfunktionen wie Zeit- und Frequenzauflösung (Ptok et al. 2000), Lautdiskriminationstest (Brunner et al. 1998), dichotische Hörtests (Baschek et al. 2003), Mottier Test (Neuschäfer-Rube et al. 2000)

Bisher ist kein Standard zur validen und effizienten Diagnostik einer AVWS bei Kindern etabliert worden (Schow et al. 2000). Kein einzelnes Testergebnis ist repräsentativ für die

Diagnosestellung einer AVWS (Nickisch und Oberle 2002). Da deutlicher Bedarf nach einheitlichen und standardisierten diagnostischen Verfahren besteht und von vielen Einrichtungen gewünscht wird (Hess 2001), sind weitere Klärungen hierzu dringend notwendig. Diese Untersuchung versucht daher, bestimmte Testmethoden hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Diagnostik einer AVWS aus den bisher gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnissen näher zu beleuchten und Untersuchungen, die an einem Patientenkollektiv mit Verdacht auf eine AVWS durchgeführt wurden, bezüglich ihrer Aussagefähigkeit zu analysieren. Die Ergebnisse sollen dazu beitragen, weiteren Aufschluss über effiziente diagnostische Wege zu erlangen und zusätzliche Information über die Wertigkeit verschiedener Testverfahren zu gewinnen. Das akustische System des menschlichen Organismus wird zusammenfassend erläutert. Das Krankheitsbild AVWS wird erklärt, Komorbiditäten sowie bestehende Schwierigkeiten in der Diagnostik werden aufgezeigt. Die verschiedenen Untersuchungen werden in einen objektiven und einen subjektiven Teil gegliedert und die dazu bisher veröffentlichten wissenschaftlichen Erkenntnisse zusammengefasst. Es wird untersucht, wie spezifisch die Testergebnisse bei einem Patientenkollektiv mit AVWS im Vergleich zu Kindern ohne AVWS ausfallen und ob die Testergebnisse den Verdacht für dieses Krankheitsbild bestätigen können.

## ***2.2 Das akustische System***

### **2.2.1 Das periphere Hörsystem**

Die Ohrmuschel und der Gehörgang bilden das äußere Ohr, durch welches das Schallsignal an das Trommelfell geleitet wird. Das Trommelfell bildet die Grenze zwischen äußerem und mittlerem Ohr. Durch den Wechseldruck des Schalls wird das Trommelfell in Schwingung versetzt und der mit dem Trommelfell verbundene Gehörknöchel Malleus überträgt die mechanische Auslenkung auf die Gehörknöchelchen Inkus und Stapes (Ptok 1997). Die Fußplatte des Stapes ist mit dem ovalen Fenster des Innenohres beweglich als auch elastisch verbunden und leitet die Auslenkung auf das ovale Fenster des Innenohrs weiter. Das Innenohr, das auf Grund seiner Schneckenform als Cochlea bezeichnet wird, besteht aus Hör- und Gleichgewichtsorgan. Im Hörorgan findet die Umwandlung der mechanischen in elektrochemische Energie statt. Durch die erzeugten Schwingungen am ovalen Fenster wird die Innenohrflüssigkeit verschoben. Dieses führt zur Auslenkung der Basilarmembran, auf der sich das Corti-Organ befindet. Das Corti-Organ setzt sich aus Sinneshaarzellen, Stützgewebe

und Nervenfasern zusammen (Silbernagel und Despopoulos 2003). Das Corti-Organ wird gegen die darüber liegende Tektorialmembran bewegt (Delb und Praetorius 2004). Es kommt letztendlich zur Auslenkung der Stereozilien der inneren Haarzellen und zum Einstrom von Kationen, der Freisetzung des Neurotransmitters Glutamat und der Erzeugung elektrischer Signale in den Synapsen (Silbernagel und Despopoulos 2003). Die Impulse aus den inneren Haarzellen werden neuronal weitergeleitet (Delb und Praetorius 2004).

## **2.2.2 Das zentrale Hörsystem und die zentrale Verarbeitung akustischer Informationen**

Die Verarbeitung auditiver Signale beginnt bereits auf Ebene der Cochlea. Der Schallreiz wird durch die Sinneshaarzellen in Nervenimpulse umgewandelt und nach Frequenz und Lautstärke codiert (Berger 2007). Die Impulse werden über den Hörnerven zum Nucleus cochlearis im Hirnstamm und zur ersten Synapse der Hörbahn weitergeleitet. Die zeitliche Summation und Integration eines Klanges sind Prozesse, die bereits in diesem Bereich zu finden sind (Heil und Neubauer 2003). Im Hirnstamm in Höhe der Oliven- und Cochleariskerne kreuzen die Hörbahnen erstmalig und die Informationen der kontra- und ipsilateralen Seiten treffen aufeinander (Uttenweiler 1996). Hier findet die erste Verarbeitung der Nervenimpulse bezüglich Intensität, Phase und Stimulationszeit, Kodierung von Frequenz und Signalmerkmalsextraktion statt (Ptok und Ptok 2001). Fehlfunktionen in diesem Bereich werden als Verarbeitungsstörungen bezeichnet (Nikisch et al. 2007). Die Signale werden weiter als Radiatio acustica über das Corpus geniculatum mediale als Teil des Thalamus an die primäre Hörrinde in den Gyri temporales transversi im Kortex und Teilen des angrenzenden Gyrus temporalis superior geleitet. Auf dem gesamten Weg werden die akustischen Signale weiter hinsichtlich Zeit-, Frequenz- und Intensitätsbeziehungen verarbeitet (Berger 2007). Je zentraler sie sich befinden, desto spezifischer ist die Analyse. Diese Strukturen des Hörsystems sind nicht bei Geburt fertig entwickelt, sondern können erst durch das Vorhandensein akustischer Signale komplett ausreifen (Matschke 1993).

Der anschließende auditorische Kortex gliedert sich in primäre, sekundäre und tertiäre Felder. Ihm wird unter anderem die Funktion der Laut- und Geräuschempfindung sowie das Verständnis von Wort und Klang zugeschrieben (Ptok und Ptok 2001). Die akustischen Signale werden im primären Projektionsfeld (Area 41 nach Brodmann) nach Dauer, Intensität, Frequenz etc. eingeordnet und zur emotionalen, kognitiven sowie sprachlichen Assoziation in

das sekundäre Rindenfeld (Area 42) projiziert. Im tertiären Rindenfeld findet abschließend die intermodale Integration des Gehörten statt (Giraud und Price 2001). Auch die akustische Aufmerksamkeit und Speicherung von Wort- und Sprachinhalten findet im auditorischen Kortex statt (Ptok und Ptok 2001). Eintreffende Reize werden im Ultrakurzzeitgedächtnis vorbewusst auf ihre Bedeutung überprüft. Sie werden entweder ignoriert oder dem Kurzzeit- bzw. Arbeitsgedächtnis weitergeleitet, in dem sie mehrere Sekunden gespeichert werden (Brand und Markowitsch 2005). Die auditive Merkfähigkeit ist nötig, um grundlegende Tätigkeiten im Alltag wie Rechnen oder Schreiben leisten oder Sprache korrekt verwenden zu können (Pickenhain 2003, Leurpendeur et al. 2006). Neben der Hörrinde liegen Assoziationsareale, welche die Sprachverarbeitung und Speicherung sowie die dadurch bedingte Gedächtnisleistung ermöglichen (Uttenweiler 1996). Die Perzeption akustischer Signale ist weiterhin abhängig von der bewussten Analyse der Informationen auf zentraler Ebene. Die Vigilanz, die Aufmerksamkeit und das Gedächtnis nehmen im Rahmen so genannter „top-down“ Prozesse zusätzlich Einfluss auf die zentrale Wahrnehmung und Verarbeitung akustischer Informationen (Humphreys et al. 1997). Die auditive Wahrnehmung und Verarbeitung wird demzufolge als ein Gesamtprozess bezeichnet, der durch ständig einströmende Reize und deren Organisation beeinflusst ist (Zimbardo 1995).

### **2.2.3 Leistungen der zentralen auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung**

Eine der Hauptaufgaben unseres Hörsystems ist die Erkennung unserer Sprache, die nur durch die Leistungen unseres zentralen Gehörs gewährleistet werden kann. Verarbeitung, Wahrnehmung und Verwertung der akustischen Signale sind, wie bereits in Abschnitt 2.2.1 und 2.2.2. beschrieben, eng miteinander verknüpfte und in sich verwobene Prozesse, die zum Teil hierarchisch organisiert sind (Sussmann 1993). An diesen Prozessen ist eine Vielzahl von serialen, verteilten und parallelen neuronalen Netzwerken beteiligt (Nickisch et al. 2007). Bis heute sind die Vorgänge und Interaktionen der einzelnen Netzwerke noch nicht vollständig untersucht und damit verstanden.

#### Auditive Verarbeitung

Akustische Signale werden auf verschiedenen Ebenen hinsichtlich ihrer Zeit-, Frequenz- und Intensitätsbeziehungen analysiert und verarbeitet (Dougherty et al. 1998, Berger 2007). Auf Höhe des Hirnstammes wird die Lokalisation, Separation, Diskrimination, Identifikation,

Differenzierung und Integration auditiver Signale ermöglicht (Uttenweiler 1996). Dadurch ist dem Menschen die Fähigkeit gegeben, akustische Reize räumlich zuzuordnen, Störschall unterdrücken und Klänge sowie Geräusche unterscheiden zu können. Die binaurale Interaktion stellt daher eine elementare Leistung des Hirnstammes dar (Nickisch et al. 2007). Wichtige Fähigkeiten des „zentralen Gehörs“ sind weiterhin die zentrale Trennung zweier verschiedener Schallbilder, die simultan aus unterschiedlichen Richtungen dargeboten werden, sowie die gleichzeitige Verarbeitung von Signalen mit hohem Informationsgehalt (Uttenweiler 1980). Diese Fähigkeit wird u. a. als dichotisches Hören bezeichnet. Auch die Fusion von unvollständig erfassten akustischen Informationen gehört zur Leistung des „zentralen Gehörs“ (Berger 2007).

### Auditive Wahrnehmung

Unter diesem Begriff versteht man die bewusste Analyse auditiver Signale zu höheren Zentren hin (Nickisch et al. 2007). Sie wird als ein Prozess der auditiven Identifikation im Sinne kognitiver Fähigkeiten angesehen, durch die die Wahrnehmung akustischer Reize auch reduziert und transformiert werden kann (Mc Adams 1993). Sie umfasst die Speicherung akustischer Informationen, ihre Reaktivierung und Verwendung (Nickisch et al. 2007). Wir besitzen die Fähigkeit, uns bestimmten auditiven Reizen bewusst und unbewusst zuzuwenden zu können, Unterschiede zwischen Tonhöhen und Lauten erkennen, sie in unsere Umgebung einordnen und im höheren Kontext sehen zu können (z.B. „plätscherndes Wasser“ = Bach, „Rauschendes Wasser“ = Wasserfall). Im Rahmen der auditiven Merkfähigkeit können wir auditive Signale speichern, ihnen basierend auf Lernprozessen und Erfahrungen höhere Bedeutungen zuordnen (z.B. Sirene des Krankenwagens) sowie gehörte Schallbilder wieder erkennen und das Gehörte mit höherem Inhalt verbinden (Nickisch et al. 2007). Dadurch wird es uns ermöglicht, unsere Sprache im Rahmen unserer Kommunikation im täglichen Leben nutzen zu können (Uttenweiler 1996, Ptok und Meisen 2007).

## **2.3 Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung**

### **2.3.1 Definition AVWS**

Eine auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung ist eine modalitätsspezifische Störung, die vorliegt, wenn zentrale Prozesse des Hörens gestört sind (Ptok et al. 2000). In der



Verarbeitung oder Wahrnehmung akustischer Informationen finden sich pathologische Prozesse, die zu Einschränkungen und zu einem Defizit der zentralen auditiven Informationsverarbeitung führen (Cacace und McFarland 1998, Ptok und Ptok 2001, CSHA 2002, ASHA 2005, Nickisch et al. 2006). Diese Störungen können auf einzelnen oder mehreren Ebenen vorhanden sein und sich unterschiedlich in der Symptomatik äußern. Je nach Ursache können z.B. Störungen der Lautdiskrimination, des Richtungsgehörs, der Schallunterdrückung sowie der Hörmerkspanne vorliegen (Ptok et al. 2000, Berger 2007). Es ergibt sich ein heterogenes Krankheitsbild (Hess 2001). Das Tonschwellenaudiogramm ist unauffällig (Jerger und Musiek 2000). Die Funktion des Innenohres ist intakt. Grob lassen sich die Störungen der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmungen in Prozesse einteilen, die vom Ganglion spirale bis zum Hirnstamm lokalisiert sind, oder aber in Störungen, die die rindennahen Abschnitte der Nervenbahn betreffen (Lehnhardt und Laszig 2000). Zentrale Störungen können isoliert vorliegen, häufig tritt eine AVWS allerdings in Verbindung mit anderen Krankheiten auf (s. Kap. 2.3.6). Sie wird im Englischen auch als „Central auditory processing disorder“ bezeichnet (Chermak et al. 1999, ASHA 2005).

### **2.3.2 Ätiologie und Pathogenese der AVWS**

Es finden sich Dysfunktionen der neuronalen Afferenzen und Efferenzen der „retrokokleären“ Anteile des zentralen Nervensystems, die zur Hörbahn gehören (Ptok et al. 2000, Nickisch et al. 2007). Demzufolge können die Störungen der zentralen Hörverarbeitung in den Ebenen des Hirnstammes, des Mittelhirns oder weiter zentral lokalisiert sein. Als direkte Ursache werden lokale Prozesse (z.B. kongenital, vaskulär, entzündlich, tumorös) als auch funktionelle Störungen in Betracht gezogen (Ptok et al. 2000, Nickisch et al. 2007). Anders als bei Erwachsenen finden sich bei Kindern selten umschriebene morphologische Läsionen, und Beeinträchtigungen sind meist nicht auf einen bestimmten Bereich eingrenzbar (Hess 2001). Es wird vermutet, dass bestimmte Abschnitte der Hörbahn im unterschiedlichen Maße von einer Dysfunktion betroffen sein können (Ptok et al. 2000). Es ist bisher nicht genau bekannt, ob die Störungen isoliert die Hörbahn betreffen oder ob generelle Defizite z.B. der neuronalen Kodierung vorliegen (Tallal et al. 1993, Bamiou et al. 2001). Chronische Mittelohrentzündungen werden als Ursache einer AVWS kontrovers diskutiert (Roberts et al. 2002, Minning 2004), ein eindeutiger Zusammenhang zwischen chronischen Otitiden und AVWS konnte bisher jedoch nicht nachgewiesen werden (Wohlleben 2007). Weitere



Ursachen, die mit der Entstehung einer AVWS zusammenhängen können, sind u. a. genetische Einflüsse, peri- und postnataler Sauerstoffmangel, Nikotin-, Alkohol-, Medikamenten- und Drogenabusus der Mutter während der Schwangerschaft, schwere Ernährungsstörungen mit Toxikose sowie Frühgeburtlichkeit und Übertragungen (Trammer et al. 1992, Church et al. 1996, Ptok 2000, Ptok und Ptok 2001).

### **2.3.3 Einteilung nach Lokalisationen**

Zeigt sich eine überwiegende Störung vor dem Bereich der primären Hörrinde (z.B. bis zur Vierhügelplatte), deutet dies auf einen pathologischen Prozess im Hirnstammbereich hin (Ptok et al. 2000). Im Angloamerikanischen wird dieses klinische Bild als „Brainstem Auditory Processing Disorder“ bezeichnet (Kraus et al. 1984). Die Schallquellen-Lokalisation oder das Verstehen im Störschall sind gestört (Berssenbrügge 2004). Handelt es sich dagegen um eine Störung der weiteren Analyse in der Großhirnrinde und den Sprachzentren, befindet sich der pathologische Prozess im primären auditorischen Kortex und kann dementsprechend als vorwiegende Wahrnehmungsstörung bezeichnet werden (Ptok et al. 2000).

Eine Sonderform der AVWS stellt die auditorische Neuropathie dar (Starr et al. 1991). Hier finden sich pathologische Funktionen der inneren Haarzellen, der synaptischen Übertragung und/oder eine gestörte Weiterleitung im Ganglion bzw. Nervus acusticus (Moser et al. 2006). Die äußeren Haarzellen sind intakt. Die evozierten otoakustischen Emissionen sind gut nachweisbar, während bei der Ableitung auditorisch evozierter Potenziale die Potenziale fehlen oder stark deformiert vorliegen. Die klinischen Symptome können stark variieren. So finden sich Patienten mit einem normalen Tonschwellenaudiogramm und einer unproportional reduzierten Sprachverständlichkeit (Moser et al. 2006), während es bei anderen zu einer erheblichen Absenkung der Tonschwelle bis zur Gehörlosigkeit und einem nachweisbaren Hörverlust im Tonschwellenaudiogramm kommen kann (Starr et al. 1991, Moser et al. 2006).

### **2.3.4 Prävalenz**

Die Häufigkeit einer AVWS wird sehr unterschiedlich angegeben. Es liegen Schätzungen zwischen 2-3%, im angloamerikanischen Raum von 7% bis zu 20% vor. Das Geschlechterverhältnis von Jungen zu Mädchen beträgt 2:1 (Jerger und Musiek 2000).

### **2.3.5 Symptome einer AVWS**

Kinder, die an zentralen Hörstörungen leiden, fallen oftmals durch leichte Ablenkbarkeit, ein eingeschränktes auditives Kurzzeitgedächtnis, schlechtes Verstehen von Sprache in unruhiger Umgebung (z.B. Kindergarten oder Schule) sowie häufiges Nachfragen auf (Uttenweiler 1996, Bamiau et al. 2001). Sie haben Schwierigkeiten, Phoneme in Wörtern zu unterscheiden sowie redundanzverminderte bzw. dichotische Stimuli und Sprache im Störlärm zu verstehen (Vanniassegaram et al. 2004, Berger 2007). Es kommt in Gruppensituationen zu Problemen, den Störschall unterdrücken zu können, um so Gesprächen folgen zu können (Ptok et al. 2000). Kinder mit hoher Intelligenz sind möglicherweise in der Lage, diese Probleme kompensatorisch kognitiv auszugleichen, jedoch bleiben eine emotionale Verunsicherung und die daraus resultierenden Folgen auch bei diesen Kindern bestehen (Brunner und Hornberger 2007). Lehrern fallen die Kinder oft durch Probleme beim Schreiben und Lesen auf, da häufig Buchstaben in Wörtern verwechselt werden (Nickisch et al. 2007). Oftmals können Schallquellen nur ungenau zugeordnet werden (Nickisch et al. 2007). Die auditive Merkfähigkeit und Aufmerksamkeit kann stark reduziert sein. So reagieren viele Kinder auf Ansprache verzögert oder gar nicht und komplexe auditive Anweisungen werden schlecht behalten oder nur zu einem Teil bewusst wahrgenommen (Gopal und Pierel 1999).

Allerdings sind bei Kindern mit AVWS nicht nur isoliert die Bereiche des Hörens gestört. Die uneingeschränkte Nutzung der Sprache basiert u. a. auch auf den Fähigkeiten, akustische Information korrekt wahrnehmen, hinsichtlich verschiedener Faktoren verarbeiten und im Kurzzeitgedächtnis speichern zu können (Tonnquist-Uhlén et al. 1996). Eine AVWS kann daher zusätzlich eine Beeinträchtigung der Sprachentwicklung (rezeptiv/expressiv), des Schriftspracherwerbs und der sprachlich-kognitiven Entwicklung nach sich ziehen und so das Bildungsniveau und die Entwicklung von Persönlichkeit und psychosozialer Kompetenz negativ beeinflussen (Bellis und Ferre 1999, Chermak et al. 1999). Die Schwierigkeiten in der auditiven Verarbeitung resultieren nicht selten in einem sozialen Rückzug verbunden mit einem ängstlichen, depressiven und zum Teil aggressiven Verhalten (Joseph et al. 2003). Es zeigen sich Unterschiede in der Kontakt- und Umgangsfähigkeit, emotionaler Gestimmtheit und der Selbstbehauptung im Vergleich mit gesunden Kindern der gleichen Altersstufe (Keilmann et al. 2003). Fast alle Patienten sind in ihrem sozialen Verhalten gestört (Joseph et al. 2003), wobei vermutet wird, dass diese psychischen Auffälligkeiten aus der bestehenden AVWS resultieren (Hindley 1997). Die Auswirkungen dieses Krankheitsbildes betreffen daher den gesamten Lebensbereich des Patienten. Die aus einer AVWS resultierenden Defizite sind als ein Symptomkomplex zu verstehen, der als in sich verwobene sprachliche,

psychosoziale und auditive Auffälligkeiten in Verhalten, Kommunikation und Aufmerksamkeit beschrieben werden kann (Brunner 2007).

Die verschiedenen Symptome, die bei einer AVWS vorkommen können, sind in der Tab. 2.3.5 zu den einzelnen Abschnitten und Funktionen der Hörbahn aufgeführt.

Tabelle 2.3.5: Die Abschnitte der Hörbahn, ihre auditiven Teilfunktionen und Funktionsprüfung sowie die Symptome bei AVWS

<b>Anatomische Ebene</b>	<b>Physiologische Ebene</b>	<b>Symptome bei AVWS</b>	<b>Untersuchungsmethode</b>
<b>Mittelohr</b>	Schallaufnahme	korrekte Schallaufnahme	Stapedius-Reflexaudiometrie
<b>Innenohr, Periphere Hörbahn</b> (Cochlea, N. VIII)	Schallumwandlung in neuronale Aktionspotenziale/Energie	unauffälliges Tonschwellenaudiogramm	Tonschwellenaudiometrie, OAE, Sprachaudiogramm, Messung der FAEP
<b>Unterer Hirnstamm</b>	Auditive Lokalisation, Summation	gestörtes Richtungshören, Lokalisation auditiver Reize gestört	Richtungshören, binauraler Fusionstest, binaurale Differenz-Potenzial
<b>Oberer Hirnstamm</b>	Lautdifferenzierung, Separation, auditive Differenzierung	gestörte Separation, pathologische Lautdifferenzierung, fehlende Unterdrückung von Störgeräuschen	Dichotischer Diskriminationstest, Sprachtest im Störgeräusch, Heidelberger Lautdifferenzierungstest
<b>Kortex</b> (in Verbindung mit Assoziationsarealen, Sprachzentrum)	Weitere Analyse (Zeitauflösung, Lautstärke, Seitenordnung, Tonhöhe), Integration, sinnesspezifische Informationen, auditiv. Langzeit-/Kurzgedächtnis	gestörte Analyse bezüglich Tonhöhe, Lautstärke und Seitenordnung, pathologische Lautdifferenzierung, gestörte Merkfähigkeit im Ultrakurzbereich	Psychoakustische Tests (PATSY), PET, Heidelberger Lautdifferenzierungstest, Mottier-Test, MAUS Test, K-ABC, PET, Ereigniskorrelierte Potenziale (MMN)

## **2.3.6 AVWS in Verbindung mit anderen Krankheiten**

### **2.3.6.1 AVWS und Aufmerksamkeitsstörungen**

Bei vielen Patienten mit AVWS finden sich Überschneidungen mit anderen Störungsbildern, die in das Krankheitsbild mit einspielen und die Diagnosestellung einer AVWS erheblich erschweren können (Nickisch et al. 2007, Wohlleben et al. 2007). Es ergibt sich häufig ein komplexes Störungsbild (Neuschäfer-Rube et al. 2000). Kinder mit AVWS haben oftmals Konzentrationsprobleme, sind unaufmerksam und können nur schlecht dem Unterricht folgen (Berger 2007, Brunner 2007). Die Abgrenzung zu Störungen der Aufmerksamkeit wie z.B. ADHS ist schwierig, da ein Großteil der Kinder, die durch scheinbare Einschränkungen des Hörvermögens auffallen, wohl auch an einer Aufmerksamkeitsstörung leidet (Chermak et al. 1998). Bei Patienten mit einer gesicherten AVWS findet sich eine hohe Inzidenz an Störungen der Aufmerksamkeit (Berssenbrügge 2004) und Eltern von Kindern mit ADHS geben vermehrte Störungen im Bereich der auditiven Wahrnehmung und Verarbeitung an (Ptok et al. 2005 a). Junge Patienten mit unbekanntem ADHS stellen sich häufig in der Pädaudiologie oder in der HNO- Praxis zum Ausschluss einer Hörstörung vor (Schwemmle et al. 2007). Dieses führt weiterhin zu intensiven Diskussionen, ob AVWS und ADHS die gleichen Störungsbilder sind, oder ob beide Krankheiten als eigenständige, aber gemeinsame Entwicklungsstörungen angesehen werden müssen (Jerger und Musiek 2000, Ptok et al. 2005 a). Teilweise wird auch die Meinung vertreten, dass bei diagnostiziertem ADHS keine primäre AVWS vorliegen kann, da es sich in dem Fall eher um eine sekundäre Form der AVWS im Rahmen eines gestörten „Top-Down Prozesses“ handelt (Chermak et al. 1999). Chermak et al. postuliert jedoch, dass die Auffälligkeiten, die sich bei Kindern mit AVWS zeigen, zwar den Anzeichen eines ADHS gleichen, sich allerdings in der Reihenfolge und Ausprägung der relevanten Symptome unterscheiden (Chermak et al. 1998). Gilt als wichtigstes klinisches Symptom einer AVWS das gestörte Hören im Störschall, so ist dies bei ADHS die Unaufmerksamkeit (Chermak et al. 1998). Die unterschiedliche Verteilung der Symptome ist der Tab. 2.3.6.1 zu entnehmen. Weiterhin unterscheidet Chermak et al. dahingehend, dass bei ADHS vorrangig die Regulation von Handlungen und ausführende Funktionen gestört sind, wohingegen bei AVWS ein überwiegendes Defizit der Perzeption vorliegt (Chermak et al. 1999).

Tabelle 2.3.6.1: Symptome und ihre unterschiedlichen Gewichtung bei Patienten mit AVWS bzw. ADHS, modifiziert nach Chermak et al. 1998

	AVWS	ADHS
<b>Sehr relevante Symptome</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hören im Störschall gestört</li> <li>• Schwierigkeiten, gesprochene Anweisungen zu verstehen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unaufmerksamkeit,</li> <li>• Rastlosigkeit, Hyperaktivität</li> <li>• häufig schnell abgelenkt</li> </ul>
Weniger relevante Symptome	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unaufmerksamkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwierigkeiten, Störschall zu unterdrücken</li> </ul>
<b>Vorrangige Untersuchungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hören im Störschall</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fremdbeurteilungsbogen ADHS</li> </ul>

Bisher sind keine Untersuchungen bekannt, die eine eindeutige Differenzierung zwischen AVWS und ADHS ermöglichen (Ptok et al. 2000, Ptok et al. 2005 a). Dichotische Tests werden als Hilfestellung zur Differenzialdiagnostik in Erwägung gezogen, wobei der dichotische Test nach Feldmann die größte Trennschärfe besitzt (Maddalena et al. 2001, Schmidt et al. 2007). Auch der Einsatz binauraler Differenzpotenziale (Delb 2007) oder die Überprüfung der Lautdiskrimination (Ptok et al. 2005 a) wird zur Unterscheidung diskutiert. Insgesamt fällt die klare Abgrenzung eines ADHS zu einer AVWS schwer und ist mit subjektiven psychoakustischen und deskriptiven Tests kaum möglich (Ptok et al. 2005 a).

### 2.3.6.2 AVWS und Sprachentwicklungsstörungen

Kinder, die an einer Störung der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung leiden, können auch durch Defizite in der Sprachentwicklung auffallen. So zeigen Patienten mit AVWS häufiger Auffälligkeiten in diesem Bereich als gesunde Kinder (Wohlleben et al. 2007). Auch bei sprachentwicklungsgestörten Kindern wurden vermehrt Defizite in der Verarbeitung auditiver Informationen diagnostiziert und häufig der Verdacht auf AVWS gestellt (Günther und Günther 1991, Demirakca und Berger 1997). Da diese beiden Störungen häufig in Kombination auftreten, werden weiterhin Zusammenhänge zwischen einer gestörten auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung und vorhandenen Sprachentwicklungsstörungen diskutiert (Ramus 2003). Betrachtet man die beiden Erkrankungen näher, so finden sich jedoch einige Unterschiede, die eine Differenzierung zwischen den beiden Krankheitsbildern ermöglichen können. Hinsichtlich ihres genetischen Hintergrundes beispielsweise unterscheiden sich die

Krankheiten deutlich (Suchodoletz et al. 2004). Liegt bei den Sprachentwicklungsstörungen eine deutlich höhere Konkordanz bei eineiigen als bei zweieiigen Zwillingen vor, ist dieses bei AVWS nicht feststellbar (Bishop et al. 1999). Es wird daher vermutet, dass bei Sprachentwicklungsstörungen genetisch determinierte Faktoren eine bedeutende Rolle spielen könnten. Zusammenhänge zwischen Sprachverarbeitung bzw. linguistische Kompetenzen und basalen auditorischen Fähigkeiten konnten beobachtet werden, die jedoch nicht zwangsläufig bestehen (Buller und Ptok 2006). Verschiedene Untersuchungen haben sich bewährt, um zwischen AVWS als primäre Störung mit Sprachentwicklungsstörungen als sekundäres Symptom oder einem primären Defizit in der Sprachentwicklung zu differenzieren (Suchodoletz et al. 2004). Kinder mit Sprachentwicklungsstörungen zeigen bevorzugt in der Lautdifferenzierung und der auditiven Merkfähigkeit schlechte Leistungen, allerdings nicht in den auditiven Wahrnehmungstests, wie dieses bei Patienten mit AVWS der Fall ist (Suchodoletz et al. 2004). Diese Ergebnisse weisen auf eine Schwäche der auditiven Merkfähigkeit und Zeitverarbeitung hin, sprechen jedoch nicht für eine primäre Störung der auditiven Wahrnehmung (Suchodoletz et al. 2004, Tallal et al. 1993).

### **2.3.6.3 AVWS und Lese-Rechtschreib-Schwäche**

Kinder, bei denen eine AVWS vorliegt, weisen neben den typischen Symptomen einer zentralen Hörstörung häufig zusätzlich Rechtschreibschwächen auf. Nicht selten zeigen sie schlechtere schriftliche Leistungen als gesunde gleichaltrige Kinder. Nach Neuschäfer-Rube et al. erhielten Patienten mit AVWS gehäuft pathologische Werte in der Lese-Rechtschreib-Diagnostik, die in 78% der Fälle für eine Dyslexie sowie in 80% der Fälle für eine phonologische Dysgraphie sprachen (Neuschäfer-Rube et al. 2000). Im Gegensatz dazu ließen sich bei Kindern, die an einer primären LRS leiden, überdurchschnittlich häufig Defizite in der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung nachweisen (Matulat et al. 1999, Schmidt et al. 2007). Eine uneingeschränkte zentral-auditive Verarbeitung gilt als eine der Voraussetzungen für einen korrekten Spracherwerb, so dass eine zentrale Verarbeitungsstörung auch auf den Erwerb der Schriftsprache einen großen Einfluss ausüben kann (Ptok et al. 2008). Hierbei gelten phonologische Verarbeitungsschwächen sowie Defizite in temporalen Prozessen als Hauptursachen für eine LRS. Es fanden sich Hinweise darauf, dass Patienten mit Dyslexie starke Defizite in der Verarbeitung schnell hintereinander gegebener auditiver Reize bzw. Störungen in der binauralen Verarbeitung aufweisen (Dougherty et al. 1998). Schlechte

Leistungen im Lautdifferenzierungstest oder im Nachsprechen von Minimalpaaren korrelierten mit einer unterdurchschnittlichen Rechtschreibleistung (Möhring et al. 2003). Dichotische Hörtests erwiesen sich als geeignet, um zwischen Kindern mit LRS und Kontrollgruppen zu unterscheiden (Maddalena et al. 2001, Schmidt et al. 2007). Anzumerken bleibt, dass sich bei Kindern mit LRS bevorzugt Störungen in den Verarbeitungsschritten der Diskrimination, Fusion und Separation auditiver Stimuli nachweisen ließen, die nicht temporalen Prozessen, sondern dem mittleren und unteren Hirnstamm zuzuordnen sind (Matulat et al. 1999). Diese Befunde weisen darauf hin, dass ein Defizit der auditiven Verarbeitung bei primärer LRS in anderen Ebenen lokalisiert sein könnte als bei Kindern mit primärer AVWS. Diese Befunde sind zur Zeit Gegenstand weiterer Forschungen.

### **2.3.7 Diagnostik der AVWS**

#### **2.3.7.1 Anforderungen an die diagnostischen Verfahren und das Testmaterial**

Die Diagnostik der AVWS sollte subjektive als auch objektive Untersuchungen beinhalten, da nur so die verschiedenen Aspekte der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung mit einbezogen und überprüft werden (Keith 2000). Da eine AVWS keine einheitliche Erkrankung ist, sondern unterschiedliche Bereiche der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung betreffen kann, sollten verschiedene Ebenen der Verarbeitung und Wahrnehmung mit einbezogen werden, wie z.B. das Hören im Störschall, die Überprüfung der Sequenzierung akustischer Informationen sowie das Kurzzeitgedächtnis (Katz und Kusnierczyk 1993). Eine AVWS kann sich in Untersuchungen unterschiedlichster Fachrichtungen zeigen. Die Diagnostik der AVWS sollte aus diesem Grunde stets multidisziplinär erfolgen (Bamiou et al. 2001). Da AVWS in den meisten Fällen im Kindesalter diagnostiziert wird, muss das Prüfungsmaterial in der Durchführung kindgerechte Anforderungen stellen (Uttenweiler 1980). Nur so können verfälschte Werte durch eine Überforderung der Patienten verhindert werden. Besonders jüngere Kinder sind schnell müde, unkonzentriert und brauchen längere Pausen zwischen den Tests (Hess 2001). Zusätzlich sollte versucht werden, die Einflüsse der Sprachkenntnisse und -entwicklung des Kindes auf die Testergebnisse zu minimieren, da nur so eine ausreichende Spezifität der Untersuchungen gewährleistet werden kann. Testbatterien sollten möglichst niedrige Anforderungen an die linguistischen Fähigkeiten der Kinder stellen (Neijenhuis et al. 2004).



### **2.3.7.2 Ein- und Ausschlusskriterien für die AVWS Diagnostik**

Die Diagnosestellung der AVWS erfolgt durch den Nachweis gestörter Prozesse im Bereich der Hörbahn und weiteren auditiven Analyse. Eine Voraussetzung für ein ungestörtes Verstehen komplexer auditiver Informationen ist die primäre Fähigkeit, sich akustischen Reizen zuwenden und akustische Signale wahrnehmen zu können. Eine intakte Sinnesaufnahme und Verarbeitung im peripheren Hörsystem ist eine Grundbedingung, die beim Patienten gegeben sein muss (Berger 2007). Im Rahmen der AVWS-Diagnostik muss deshalb eine periphere Hörschädigung ausgeschlossen sein (Ptok 2000). Es dürfen keine Hinweise auf Erkrankungen des äußeren Ohres, des Mittel- oder des Innenohres vorliegen (Ptok et al. 2004 a). Das Tonschwellenaudiogramm stellt eine Möglichkeit dar, um periphere Hörstörungen auszuschließen, und ist Grundbedingung zur weiteren Diagnostik (Uttenweiler 1996, Jerger und Musiek 2000). Weiterhin müssen allgemeine kognitive Dysfunktionen vor der Diagnosestellung einer AVWS ausgeschlossen werden (Hess 2001, Ptok et al. 2000). Die nonverbale Intelligenz korreliert zwar nicht mit den auditiven Prüfungsdimensionen (Kieser-Himmel und Kruse 2006), es bestehen jedoch signifikante Kovariationen zwischen einigen Variablen der AVWS und dem Intelligenzquotienten (Maddalena et al. 2004). Erfolgt keine Abklärung der Intelligenzstärke, kann es zur Konfundierung der Symptome einer AVWS mit Intelligenzdefiziten kommen (Dierks et al. 1999, Maddalena et al. 2004). Die Diagnosestellung einer AVWS ohne erfolgte Intelligenzdiagnostik ist somit nicht zu verantworten (Brunner und Hornberger 2007). Es muss weiterhin sichergestellt sein, dass die auditiven Auffälligkeiten nicht durch primäre nicht-audiologische Prozesse wie z.B. rein sprachliche Faktoren verursacht werden (Cacace und Mc Farland 1998, Jerger und Musiek 2000). Allgemeine Lernstörung, primäre Sprachverarbeitungsstörungen oder generelle, modalitätsübergreifende Beeinträchtigungen der Gedächtnisfunktion müssen ausgeschlossen werden (Ptok et al. 2000).

### **2.3.7.3 Schwierigkeiten in der AVWS-Diagnostik**

Schwierigkeiten ergeben sich in den modalitätsspezifischen Untersuchungen hinsichtlich der Abgrenzung zu unspezifischen Faktoren, welche die auditive Wahrnehmung und Verarbeitung mit beeinflussen können (Hess 2001). Diese modalitätsunspezifischen Faktoren wie z.B. Motivation, Aufmerksamkeit oder Lernen und Gedächtnisleistungen werden von den Untersuchungen indirekt miterfasst, üben einen Einfluss auf die Testergebnisse aus und sind



testmethodisch nur schwer abgrenzbar (Hess 2001). Es kann daher leicht zur Vermischung höherer kognitiver Funktionen mit basalen auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsfunktionen kommen (Kiese-Himmel und Kruse 2006, Brunner 2007). Weitere Probleme ergeben sich durch die Tatsache, dass die einzelnen Teilbereiche einer AVWS eine unterschiedliche Relevanz für die Sprachprobleme der Patienten aufweisen können (Brunner und Hornberger 2007). Es korreliert z.B. die Variable „Lautdifferenzierungsfähigkeit“ hoch signifikant mit der Rechtschreibleistung, wohingegen die Variable „Hören im Störschall“ keinen Zusammenhang aufweist (Möhring et al. 2003). Dieses bedeutet, dass Defizite in einem spezifischen Verarbeitungsschritt (z.B. Lautdifferenzierung) mit anderen Schwächen einhergehen (z.B. Rechtschreibschwäche), als dieses bei anderen gestörten Prozessen (z.B. Störschallunterdrückung) der Fall ist. So muss jeder Patient differenziert betrachtet werden, da sich ein Defizit in der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung je nach Ursprung und betroffenem Teilbereich auch in unterschiedlicher Weise als Symptom manifestieren kann.

Weitere Schwierigkeiten ergeben sich in der Ergebnisauswertung. Viele Testmethoden sind nicht ausreichend standardisiert und es fehlen Sensitivitäts- und Spezifitätsbestimmungen hinsichtlich der Fragestellung AVWS. Es stellt sich häufig die Frage, ab welchen pathologischen Werten eine AVWS als bestätigt angesehen werden kann. Oftmals müssen zwei Standardabweichungen in den Normbereich mit einbezogen werden, da andernfalls der pathologische Bereich für viele Untersuchungen zu weit gefasst wäre (Dornitz und Schow 2000). Weiterhin bleibt zu bedenken, dass häufig nur 9% der gesunden Kinder in allen Tests fehlerfrei abschneiden (Peck et al. 1991). Die Annahme, dass bereits bei einem pathologischen Testergebnis der Verdacht auf eine AVWS bestätigt ist, würde zu vielen falsch positiven Ergebnissen führen. Es erweist sich als geeigneter, die Diagnose einer AVWS erst nach zwei (Wohlleben et al. 2003) bzw. nach drei pathologischen Testergebnissen in jeweils unterschiedlichen Verarbeitungsbereichen (z.B. Lautdifferenzierung, dichotisches Hören und auditive Merkfähigkeit) zu stellen (Berger und Demirakca 2000). Viele Untersuchungen sind zudem im hohen Maße altersabhängig und müssen noch speziell an die unterschiedlichen Altersgruppen angepasst werden (Wohlleben et al. 2007).

Trotz vielfältiger Untersuchungen zu verschiedenen Testbatterien, die im Rahmen der AVWS-Diagnostik angewendet werden, ist bislang kein diagnostischer Standard festgelegt oder ein geeignetes Screeninginstrument entwickelt worden (Schow et al. 2000, Nickisch und

Oberle 2002). U. a. liegt dieses an der Tatsache, dass die verwendeten Tests meist relativ unspezifische Störungen beschreiben und nur selten spezifische Informationen über den pathophysiologischen Zusammenhang aufzeigen (Cacace und McFarland 1998). Evaluierungen der Testverfahren im Bezug auf ihre Trennschärfe zur Diagnose AVWS liegen nur in wenigen Untersuchungen vor (Singer et al. 1998). So eignet sich z.B. der von der AVWS-Arbeitsgruppe der DGPP erstellte Fragebogen „Anamnestische Erhebungs- und Beobachtungsbogen für auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen“, um die Anamnese bei einem Verdacht auf eine AVWS zu erweitern. Als Screeninginstrument ist er allerdings nicht geeignet (Massinger et al. 2003, Nickisch et al. 2005). Vergleicht man die Ergebnisse einiger Untersuchungen miteinander, kann man feststellen, dass zwischen einigen Tests hohe Korrelationen bestehen (Wohlleben und Gross 2004). Dieses ist ein Hinweis auf Redundanz bzw. Überschneidung der einzelnen Testverfahren. Die Ergebnisse, die im Mottier-Test erzielt wurden, korrelieren z.B. deutlich mit anderen Testverfahren, die das phonologische Kurzzeitgedächtnis überprüfen (Renner et al. 2008). Weitere Korrelationen finden sich zwischen den Untertests des Heidelberger Lautdifferenzierungstests (Wohlleben und Gross 2004). Der H-LAD wurde 1998 von Brunner und Körkel entwickelt (Dierks et al. 1999). Er besteht aus den Abschnitten „auditive Lautdifferenzierung“ (=H-LAD 1a), kinästhetische Lautdifferenzierung (= H-LAD 1b) und Analyse der Laute (= H-LAD 2).

#### **2.3.7.4 Diagnostische Untersuchungsmethoden**

##### **2.3.7.4.1 Objektive Testmethoden**

###### **2.3.7.4.1.1 Messung der binauralen Fusion**

Die binaurale Interaktion ist ein Prozess, der auf den Ebenen der oberen Olivenkerne, der Nuclei des lateralen Lemniskus und dem Colliculus inferior stattfindet (Moore 1991). Die Messung der binauralen Fusion ist demzufolge eine Methode, um die Funktion des unteren Hirnstammes zu überprüfen und Störungen in diesem Bereich nachzuweisen (Palva und Jokinen 1975). Sie ist als elektrophysiologische Aktivität verschiedener Neuronen der Hörkerne nachweisbar, die als Potenziale gemessen werden können (Jiang und Tierney 1996). Die Hirnstammpotenziale werden mittels EEG-Ableitung von der linken und rechten Körperseite getrennt abgeleitet, zusammengerechnet und mit dem Potenzial verglichen, das entsteht, wenn beide Seiten zugleich gereizt werden (= binaurale Stimulation). Die Summe

der monoauralen evozierten Hirnstammpotenziale ist dabei nicht gleich dem frühen Potenzial, das in der binauralen Stimulation hervorgerufen wird, sondern größer. Die Differenz, die aus der Summendarstellung der monoauralen Ableitungen (rechte + linke Seite) und der Ableitung der binauralen Fusion berechnet wird, ergibt ein bestimmtes Potenzialmuster (Delb 2007). Dieses Potenzialmuster lässt auf die binaurale Interaktion schließen (Furst et al. 1985) und ermöglicht die Überprüfung zentral-auditiver Prozesse und des Richtungshörens (Furst et al. 1990, Hoth und Benz 2007). Die binauralen Interaktionspotenziale werden im englischen als „binaural interaction component“ (= BIC) bezeichnet (Delb 2007). Das Potenzialmuster setzt sich aus verschiedenen Wellen zusammen, die sich je nach Methodik der Potenzialberechnung unterscheiden. Es besteht bisher kein Konsens darüber, wie dieses Potenzialmuster errechnet wird (Delb 2003, Hoth und Benz 2007). Laut Delb erfolgt die Bildung des Potenzialmusters durch Subtraktion der Summe der monoauralen Potenziale (=MON) von dem binaural gemessenen Potenzial (Delb 2007):

$$„BIC = BIN - (Mon A + Mon B)“$$

Eine andere Möglichkeit der Berechnung der BIC ist die Subtraktion der binauralen Fusion von der Summe der monoaural stimulierten Signale (Delb 2007):

$$„BIC = (Mon A + Mon B) - BIN“$$

Gemein ist den beiden Methoden, dass das berechnete Potenzialmuster aus verschiedenen positiven als auch negativen Wellen besteht, die teilweise anatomischen Strukturen zugewiesen werden können. Welle 1 wird den distalen Anteilen und Welle 2 den proximalen Anteilen des Nervus cochlearis zugeordnet. Die weitere Zuweisung späterer Wellen zu einzelnen Strukturen der Hörbahn ist nicht exakt möglich. Es wird vermutet, dass Welle 3 hauptsächlich in den cochleären Kernen, Welle 4 in den oberen Olivenkernen und Welle 5 in den lateralen Lemnisci generiert wird (Brantberg et al. 1999, Moore 2000). Die komplexe binaurale Interaktion als Gesamtprozess wird erst durch die Integrität der verschiedenen Anteile der Hörbahn im Bereich des Hirnstammes ermöglicht (Wada und Starr 1989). So finden sich die Wellen 4 und 5 nur, wenn die Kerne der oberen Olive, die Bereiche lateral der oberen Olive, sowie die beiden lateralen Lemnisci nicht gestört sind (Wada und Starr 1989). Das Potenzial J5, das als weiterer Bestandteil gemessen werden kann, entspricht der Aktivität der in den Lemniscus lateralis eintreffenden neuronalen Efferenzen, die ihren Ursprung aus der oberen Olive haben (Scherg 1991). Mit dem Potenzial J 5 korreliert eine Latenz, die als Komponente der binauralen Fusion am sichersten gemessen werden kann (Hoth und Benz 2007). Diese Latenz wird in der Fachliteratur als DN1 oder als  $\beta$ -Peak bezeichnet und wird im

Differenzpotenzial in zeitlicher Nähe von max. 1 ms zur abklingenden Welle 5 sichtbar (Strauss und Delb 2005). Der  $\beta$ -Peak entsteht durch die Tatsache, dass das binaural evozierte Potenzial anders abfällt als die Summe der monaural evozierten Potenziale der Welle 5. Dem  $\beta$ -Peak kommt laut wissenschaftlichen Erkenntnissen eine besondere Stellung zu, da er eine diagnostische Aussage hinsichtlich zentral auditiver Prozesse auf Hirnstammniveau leisten soll (Furst et al. 1985, Brantberg et al. 1999). Ist dieses Muster nicht vorhanden, spricht dies für ein pathologisches Richtungsgehör, das durch umschriebene Defekte im Hirnstamm hervorgerufen werden kann (Furst et al. 1990). Orientiert man sich nach Gunnarson und Finitzo am Vorhandensein des  $\beta$ -Peaks zur Diagnostik einer AVWS, so liegt eine Spezifität und Sensitivität von 76% vor (Gunnarson und Finitzo 1991, Delb 2003).

Bei Kindern mit AVWS sind die binauralen Interaktionspotenziale häufig dahin gehend verändert, dass die Wellen deutlich flacher ausfallen als bei gesunden Kindern gleichen Alters (Gopal und Kowalski 1999). Zur grafischen Veranschaulichung ist in der Abb. 2.3.7.4.1.1.1 die binaurale Fusion eines gesunden Kindes dargestellt. Der Cursor befindet sich auf der Höhe, in der sich in Ableitung Binter der  $\beta$ -Peak befindet. In Abb. 2.3.7.4.1.1.2 findet sich eine pathologische binaurale Fusion, wie sie z.B. bei einer AVWS auftritt. Hier kommt der  $\beta$ -Peak deutlich zu spät.

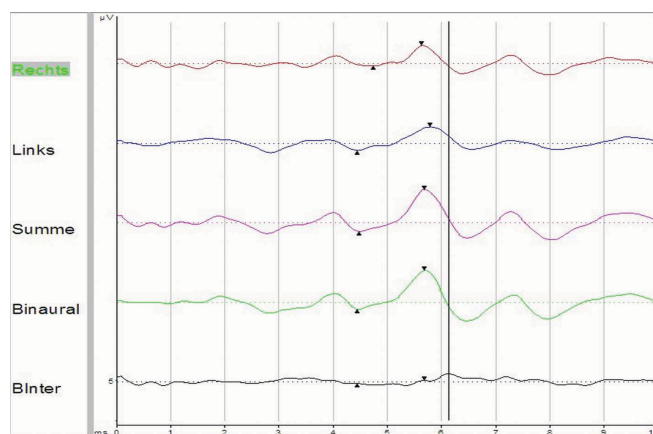


Abbildung 2.3.7.4.1.1.1 Binaurale Fusion eines gesunden Kindes

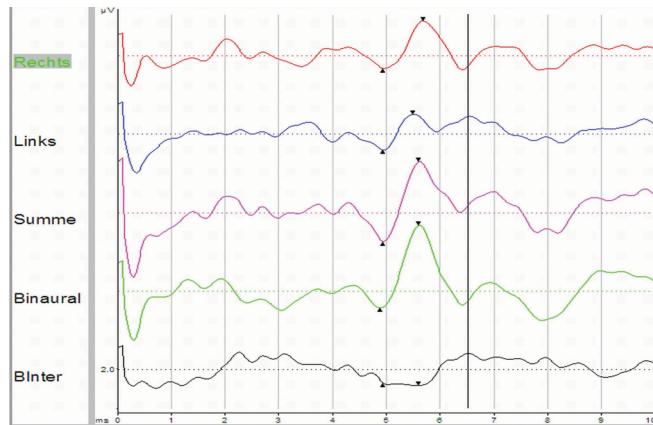


Abbildung 2.3.7.4.1.1.2 Pathologischer Befund einer binauralen Fusion bei AVWS

#### **2.3.7.4.1.2 Messung der Mismatch Negativity**

Die Mismatch Negativity (=MMN) beruht auf der Messung elektrischer Ströme der Hirnoberfläche. Sie ist ein Differenzpotenzial, das sich durch Subtraktion der Antworten auf zwei verschiedene, unterschiedlich häufig dargebotene Stimuli ergibt. Diese Stimuli können kurze Töne verschiedenerer Frequenz, Phoneme, Reizabstände u. v. a. sein. Die MMN zählt zur Gruppe der späten akustisch evozierten, ereigniskorrelierten Potenziale (=EKP). Sie wird als Messmethode der vorbewussten Verarbeitung auditiver Informationen angesehen (Näätänen et al. 1997). Diese elektrophysiologische Untersuchung ermöglicht einen direkten Vergleich der mit einer Aufgabe korrelierenden Hirnaktivität, die auch gemessen werden kann, wenn der Proband z.B. durch visuelle Aufgaben abgelenkt ist (Ackermann et al. 2005). Wird nach einer Reihe von simultanen Standard-Reizen ein differenter Stimulus (=Deviant) dargeboten, so lässt sich als Reaktion auf die akustische Irregularität mittels EEG ein verändertes neuronales Potenzial ableiten (Garrido et al. 2008). Dieses negative Potenzial tritt mit einer Latenz von 150 – 250ms nach dem Devianten auf und hat seinen Ursprung wahrscheinlich im Bereich des auditorischen Kortex (Alho 1995). Die physikalische Abweichung des Devianten gegenüber dem Standardreiz kann sich dabei auf grundlegende auditorische Dimensionen wie z.B. Tonhöhe, Lautstärke, Frequenz oder Dauer des Stimulus, oder aber auch auf komplexere Informationen wie z.B. Phoneme und Tonmuster beziehen (Winkler et al. 1998). Die MMN kann nicht nur über sprachfreie Stimuli, sondern auch durch Phoneme gemessen werden (Näätänen 2000). Die unterschiedliche Reaktion auf den devianten Stimulus im Vergleich zur gespeicherten Gedächtnisspur gilt als elektrophysiologisches Korrelat des sensorischen Gedächtnisses, da die Merkmale der Töne

(wie z.B. die Tonhöhe) analysiert werden, bei regelmäßiger Wiederholung als Teil eines Modells gespeichert und differente Reize als eine Verletzung dieses Musters wahrgenommen werden. Sie wird daher auch als „automatic change detection“ bezeichnet (Näätänen und Winkler 1999) und weist darauf hin, dass sich die neuronale Repräsentation von Sprache als auch von nicht-sprachlichen Reizen (z.B. Töne) je nach Erkennung der Stimuli im sensorischen Gedächtnis entwickelt (Näätänen 2000). Mit stärkerem Unterschied zwischen dem Standard- und dem Deviant-Reiz steigen die Amplituden in der Größe und die Latenzen verkürzen sich (Grzella et al. 2001). Zur Veranschaulichung eines typischen Verlaufes der MMN sind in den Abb. 2.3.7.4.1.2.1 und 2.3.7.4.1.2.2 eine normale und eine pathologische MMN von Patienten aus dem Patientenkollektiv, das in dieser Arbeit ausgewertet wurde, dargestellt. In der Literatur sind bisher keine Angaben zur Sensitivität und Spezifität dieser Untersuchung hinsichtlich der Fragestellung AVWS angegeben.

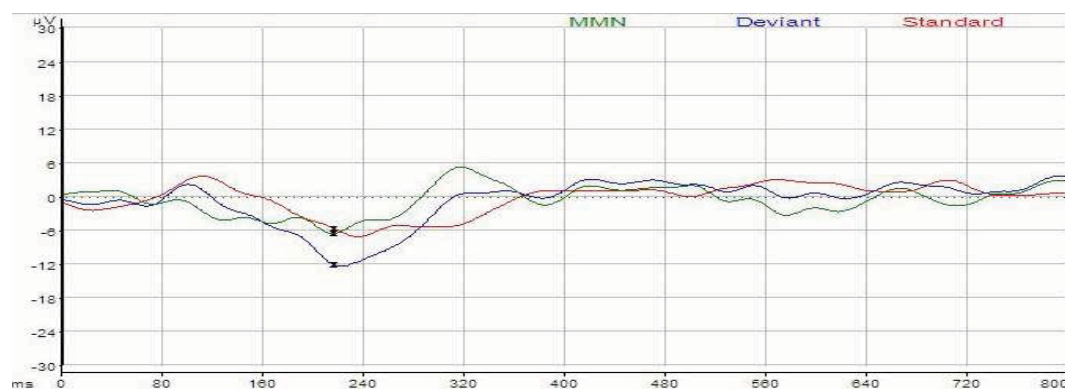


Abbildung 2.3.7.4.1.2.1 MMN eines gesunden Patienten

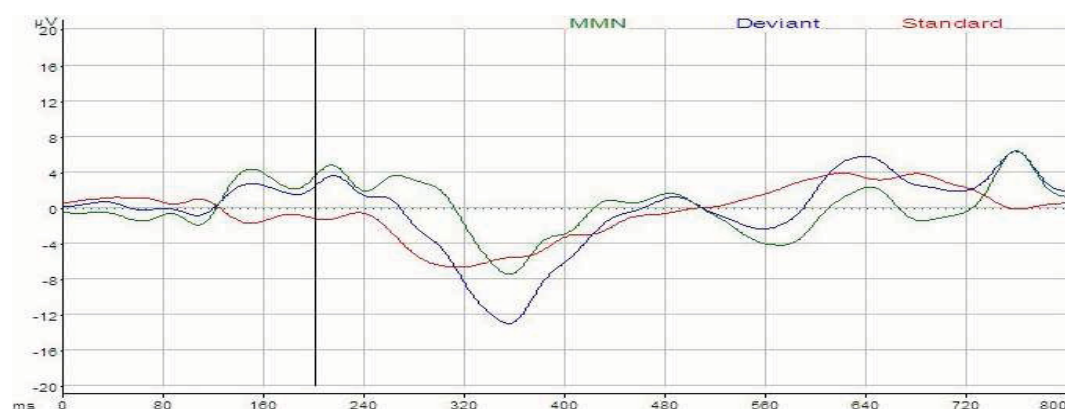


Abbildung 2.3.7.4.1.2.2 MMN eines Patienten mit AVWS

Der Prozess der Generierung der MMN ist bis dato nicht in allen Einzelheiten geklärt und unterliegt weiterhin ausführlichen wissenschaftlichen Untersuchungen. Als wichtigster Generator der MMN wird der auditorische Kortex angenommen, wobei die Lokalisation je nach Reizmerkmal oder Komplexität wechseln kann (Alho 1995). Mit Anzahl der dargebotenen Standardreize steigt die MMN (Haenschel et al. 2005). Diese Potenzialvergrößerung wird als Hinweis auf sensorische Lernprozesse angesehen, da durch die häufigere Darbietung die akustische Standardspur vom sensorischen Gedächtnis besser gespeichert werden kann (Haenschel et al. 2005). Obwohl einige Grundlagen zur MMN noch nicht in ihrer Vollständigkeit geklärt sind, so herrscht doch Konsens darüber, dass mittels der MMN die auditive Diskrimination objektiv gemessen werden kann (Wenke und Kruse 2007). Bei Kindern mit AVWS können die Prozesse der Wahrnehmung und Diskrimination auditiver Reize zu höheren Ebenen hin gestört sein, welche sich unter anderem in gestörten ereigniskorrelierten Potenzialen niederschlagen können. Als objektive elektrophysiologische Untersuchung wird die Messung der MMN häufig in die Diagnosestellung einer AVWS mit einbezogen (Suchodoletz 1999, Bamiou et al. 2001).

#### ***2.3.7.4.2 Subjektive Testmethoden***

##### **2.3.7.4.2.1 Richtungshören**

Die Lokalisation von Schallquellen ist eine Fähigkeit, die durch die Verwertung von interauralen Zeit- und Intensitätsunterschieden im Bereich des oberen Olivenkomplexes gegeben ist (Moore 1991). Am Prozess ist ein kompliziertes Netzwerk zwischen den ventralen und dorsalen Nucleus cochlearis, den oberen medialen und lateralen Olivenkernen, den Nuclei ventralis und dorsalis der lateralen Lemnisci sowie der Colliculus inferior beteiligt (Ito et al. 1988). Es werden Unterschiede zwischen Signalen, die aus beiden Corti-Organen stammen und neuronal weitergeleitet wurden, binaural ausgewertet. Diese Analyse ermöglicht es dem Menschen im Idealfall, mit einer Genauigkeit von 1° eine Schallquelle in der Medianebene zu lokalisieren (Blauert 1974). Auf die Funktion des auditiven Systems üben Faktoren wie z.B. die Zusammensetzung des Einfallswinkels oder die Entfernung zum akustischen Reiz einen Einfluss aus (Shamma 2001). Das Richtungshören ist eine der elementaren Fähigkeiten, die es dem Menschen ermöglichen, sich in seiner Umgebung orientieren zu können. Ist die auditive Analyse und Verarbeitung beeinträchtigt, kann dieses zur inkorrekten Lokalisation von Tönen



und Schallquellen führen (Nickisch et al. 2007). Geräusche können nicht korrekt ihrer Herkunft zugeordnet werden (z.B. Gespräch in großer Gruppe, gehörtes Feuerwehr-Warnsignal in der Stadt). Es resultiert eine Verwirrung bis hin zur Unmöglichkeit, sich im Alltag richtig orientieren zu können. Bei Kindern mit AVWS ist das Richtungsgehör häufig pathologisch verändert (Nickisch et al. 2007). In der Literatur sind bisher keine Sensitivität oder Spezifität dieser Untersuchung hinsichtlich der Fragestellung AVWS angegeben. Die Kinder mussten im Test die korrekte Lokalisation eines Schallreizes im Raum angeben (s. Abschnitt 3.3.1). Die Lautsprecher-Ausrichtung orientierte sich an den von Pröschel und Döring verwendeten Messanordnungen, so dass sich alle Lautsprecher nach der Position des Untersuchungssessels in der Mitte des Raumes ausrichteten (Pröschel und Döring 1990).

#### **2.3.7.4.2.2 Hören im Störschall**

Für ein korrektes Verstehen von Sprache im Störschall ist eine intakte auditive Verarbeitung und Wahrnehmung von großer Bedeutung (Bellis und Ferre 1999). Bereits auf Ebene des Hirnstammes beginnt die Analyse auditiver Informationen, die es uns u. a. ermöglicht, Störschall zu unterdrücken, um Sprache besser wahrnehmen zu können (Uttenweiler 1996). Diese Prozesse sind neben dem Hirnstamm auch im Thalamus lokalisiert (Mc Pherson und Davies 1995). Das Schallverstehen beruht weiterhin auf einem korrekten Richtungsgehör und kann bei Störungen in diesem Bereich stark eingeschränkt sein. Bei einer AVWS ist die Fähigkeit, Sprachinformation im Störschall korrekt wahrnehmen zu können, häufig pathologisch verändert (ASHA 2005, Ptok et al. 2000). Es kommt in lauter Umgebung oder in Gruppensituationen häufig zu Schwierigkeiten, Gesprächen richtig folgen zu können (Ptok et al. 2000). Eltern fallen Kinder mit AVWS dadurch auf, dass Aufforderungen nicht richtig gehört und verstanden werden (Berger 2007). Die Überprüfung des Hörens im Störschall sollte demzufolge einen festen Platz in der AVWS-Diagnostik innehaben. Als Untersuchungsmaterial können verschiedene Kindersprachtests zur Anwendung kommen. In dieser Arbeit wurde Material aus dem Mainzer Kindersprachtest verwendet. Die getesteten Wörter entsprechen dem frühen Kinderwortschatz, z.B. Auto, Bär, Bahn, Uhr (Schorn 1997). In der Literatur sind bisher keine Sensitivität oder Spezifität dieser Untersuchung hinsichtlich der Fragestellung AVWS angegeben.



#### **2.3.7.4.2.3 PATSY**

Die Abkürzung PATSY steht für „psychoakustisches Testsystem“. Es überprüft die Funktion des Kortex, der Assoziationsareale und des Sprachzentrums (Leurpendeur et al. 2006). Als sprachfreier Hörtest untersucht er neben Lautstärke und Tonhöhe auch die Zeitordnung und Seitenordnung auditiver Reize (Leurpendeur et al. 2006). Weiterhin erfolgt über die Messung der korrekten Zeitauflösung von verschiedenen Tonfrequenzen die Beurteilung der auditiven Ordnungsschwelle (Kiese-Himmel und Nickisch 2009). Diese gibt das zeitliche Intervall zwischen zwei Reizen an, bei der die Reihenfolge der aufgetretenen Reize noch angegeben werden kann. Sie gilt als modalitätsunspezifisch und liegt bei ca. 20-40 ms (Kühn-Inacker und Weinmann 2000). Bei einer AVWS sind diese basalen auditorischen Fähigkeiten häufig gestört (Ptok et al. 2000, Nickisch et al. 2007). Der PATSY gilt als geeignete Untersuchung, um zwischen gesunden Kindern und Kindern, die an Defiziten in der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung leiden, zu differenzieren. In der Literatur sind bisher keine Sensitivität oder Spezifität dieser Untersuchung hinsichtlich der Fragestellung AVWS angegeben. Über ein Testgerät werden fünf verschiedene Subtests durchgeführt. Die Untersuchungen sind kinderfreundlich aufgebaut, so dass die Patienten über Anzeigen auf dem Bildschirm unterscheiden müssen, ob nun z.B. die „hohe Mücke“ oder die „summende Biene“ gehört wurde (= Überprüfung der Tonhöhe). Im Verlauf jedes Subtests wird die jeweilige Differenz zwischen den unterschiedlichen akustischen Signalen kleiner und sie gleichen sich immer weiter einander an. Die Kinder wählen ihre Antwortmöglichkeit über zwei große, farblich unterschiedliche Knöpfe. Die Ergebnisse werden vom Testgerät selber ausgewertet und nach jedem Untertest in Prozentzahlen angezeigt. Werden weniger als drei von fünf möglichen Funktionen bestanden, gilt das Endtestergebnis als pathologisch (Warnke 2000).

#### **2.3.7.4.2.4 Dichotischer Hörtest nach Uttenweiler**

Der obere Hirnstammbereich und der Kortex lassen sich mit Hilfe des dichotischen Diskriminationstests untersuchen (Uttenweiler 1996). Unter dichotischem Hören versteht man die Fähigkeit, gleichzeitig auftretende Sprachsignale voneinander getrennt wahrnehmen und verstehen zu können (Burre 2006). So werden z.B. zwei Wörter, die simultan binaural dargeboten werden, für jedes Ohr getrennt erkannt und verstanden (Kiese-Himmel und Kruse 2007). Laut Uttenweiler ist die Fähigkeit der dichotischen Diskrimination bereits im Alter von 5 Jahren vorhanden (Uttenweiler 1980). Andere Autoren sprechen dagegen von einem

dichotischen Sprachverstehen erst ab dem 13. Lebensjahr (Schlöndorff und Tegtmeier 1973). Im Rahmen der Diagnostik einer AVWS gilt der dichotische Hörtest laut wissenschaftlichem Konsens als eine der sicheren Untersuchungen, die auf eine AVWS hinweisen können und sollte seinen festen Platz in der Diagnosestellung haben (Baschek et al. 2003). Laut Wohlleben et al. weist der dichotische Hörtest nach Uttenweiler jedoch eine schwache Spezifität mit  $<0,4$  auf (Wohlleben et al. 2003).

#### **2.3.7.4.2.5 Lautdiskriminationstest**

Die auditive Differenzierung und Lautdiskrimination beschreibt die Fähigkeit, ähnlich klingende Laute voneinander unterscheiden und strukturieren zu können. Sie ermöglicht die Zusammensetzung von einzelnen Silben zu Wörtern und ist für das inhaltliche Verständnis unserer Sprache unerlässlich (Leurpendeur et al. 2006). Ist diese Fähigkeit bei einer AVWS gestört, äußert sich dieses u. a. im eingeschränkten Verstehen von Sprachsignalen (Berger 2007). Der Patient kann zwischen ähnlich klingenden Phonemen nur schwer differenzieren. Wird ein ähnliches und nicht das tatsächliche Lautsignal wahrgenommen (z.B. „Haus“ statt „Maus“), kann die korrekte inhaltliche Bedeutung des Wortes nicht assoziiert werden, da sich der Sinn des Wortes nicht erschließen lässt (Leurpendeur et al. 2006). Es kann im Alltag schnell zu Missverständnissen und großer Unsicherheit kommen. Der Lautdiskriminationstest überprüft die auditive Analyse, die Ergänzung, Wahrnehmung und Sequenzierung auditiver Informationen im Hirnstamm, im Kortex und in den Assoziationsarealen (Leurpendeur et al. 2006). Als Untersuchung wurde in dieser Arbeit der „Bremer Lautdiskriminationstest“ (=BLDT) verwendet, der von Niemeyer entwickelt wurde (Niemeyer 1976). Hierbei wird die Erkennung von Minimalpaaren überprüft, d.h., es werden Einzelwörter verwendet, die sich allein in einem Phonem unterscheiden. Neben der Lautdiskrimination misst dieser Test auch weitere elementare Verarbeitungen wie z.B. die Hörmerkspanne (Ptok et al. 2004 b). Da Patienten mit einer Störung der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung häufig durch Defizite in der Wahrnehmung und Unterscheidung von Lauten auffallen, ist die Überprüfung Lautdiskrimination ein wichtiger Teil der Diagnostik, die im Rahmen einer AVWS erfolgen sollte (Ptok et al. 2000). Angaben zur Sensitivität oder Spezifität dieser Untersuchung hinsichtlich der Fragestellung AVWS sind bisher in der Literatur noch nicht gemacht worden.

#### **2.3.7.4.2.6 Mottier-Test**

Mit dem Mottier-Test wird die Möglichkeit, einmalig dargebotene Reize korrekt speichern und reproduzieren zu können, getestet. Die logopädische Testmethode aus dem Züricher Lesetest untersucht somit neben der Lautdifferenzierungsfähigkeit auch die auditive Merkfähigkeit im Ultrakurzbereich (Uttenweiler 1996, Linder und Grisseman 2000). Über das Nachsprechen sinnfreier Wörter (z.B. „lo-re-ma“) wird semantikfrei die Verarbeitungsgenauigkeit und –kapazität des phonologischen Speichers erfasst (Risse und Kiese-Himmel 2009). Dabei nimmt die Schwierigkeit der „Sinnlossilben“ im Laufe der Untersuchung zu (Mottier 1951). Es werden gleichzeitig Kortex, Assoziationsareale und das Sprachzentrum überprüft (Leurpendeur et al. 2006). Die Kurzzeitspeicherung auditiver Stimuli ist eine der elementaren neurokognitiven Fähigkeiten, die für den Spracherwerb unentbehrlich sind (Risse und Kiese-Himmel 2009). Bei Kindern mit AVWS sind die Lautdifferenzierung und die auditive Merkfähigkeit häufig gestört, weshalb der Mottier-Test in vielen Testbatterien zur AVWS-Diagnostik zur Anwendung kommt (Burre 2006, Risse und Kiese-Himmel 2009). Laut Nickisch et al. werden mittels dieser Untersuchungsmethode bis zu 84% der Kinder mit modalitätenspezifischer AVWS erfasst (Nickisch et al. 2004). Angaben zur Sensitivität oder Spezifität dieser Untersuchung hinsichtlich der Fragestellung AVWS sind bisher kaum gemacht worden. Wohlleben hat die Sensitivität des Mottier-Tests mit 0,93 und Spezifität mit 0,43 bei einem Cut–Off Wert von 15 Rohpunkten angegeben (Wohlleben 2004). Die Auswertung des Mottier-Tests orientiert sich in dieser Arbeit an den altersentsprechenden Normbereichen gemäß Testmanual (s. 3.4.6).

#### **2.3.7.4.2.7 K-ABC Zahlen nachsprechen**

Kinder mit AVWS verzeichnen häufig Störungen in der auditiven Merkfähigkeit und können sich Sätze, Zahlenreihen oder Reime nur schlecht merken (Kiese-Himmel 2007). Teilweise wird die eingeschränkte Fähigkeit, auditive Stimuli kurzzeitig zu speichern und reproduzieren zu können, als stärkstes Symptom einer AVWS angegeben (Burre 2006). Die Überprüfung des auditiven Kurzzeitgedächtnisses stellt demzufolge einen wichtigen Bestandteil in der Diagnostik der AVWS dar (Ptok et al. 2004 b, Nickisch et al. 2007). Sie kann unter anderem über die mündliche Reproduktion von Zahlenfolgen getestet werden. Den Kindern werden hierzu Zahlenfolgen aus dem Subtest „Zahlen nachsprechen“ der „Kaufmann Assessment Battery for Children – deutsche Version“ (= K-ABC; Melchers und Preuß 2001)

vorgesprochen. Die Testbatterie wurde 1991 zur Erfassung der Intelligenz und verschiedener weiterer Fertigkeiten entwickelt und hat einen Altersanwendungsbereich von 2,6 – 12,5 Jahren (Kiese-Himmel 2007). Die Untersuchung besteht aus 19 Zahlenreihen, beginnend mit zwei Zahlen, die sich auf maximal acht Zahlen steigern (Melchers und Preuß 2001). Sensitivität oder Spezifität ist für diese Untersuchung hinsichtlich der Differenzierung einer vorliegenden AVWS in der Literatur bisher nicht angegeben.

#### **2.3.7.4.2.8 PET Wörter ergänzen**

Gesunde Menschen sind auf Grund der in unserer Sprache gegebenen Redundanz in der Lage, fehlende Laute, Silben oder Wörter zentral und sinngemäß zu ergänzen. So können wir trotz fehlender Informationen unsere Sprache dennoch erkennen und gebrauchen (Leurpendeur et al. 2006). Diese Kompetenz wird neuropsychologisch als „priming“ bezeichnet (Pickenhain 2003). Bei Patienten mit AVWS ist diese Fähigkeit auf Grund pathologischer Prozesse nicht voll erhalten und es ist ihnen nicht oder nur bedingt möglich, unvollständige Klangmuster um ihren fehlenden Teil zu vervollständigen (Burre 2006). Dieses kann unter anderem durch den Subtest „Wörter ergänzen“ des psycholinguistischen Entwicklungstests (=PET) untersucht werden, der zu den einheitlichen Fähigkeiten gerechnet wird (Kiese-Himmel 2007). Es werden den Kindern verschiedene Worte angeboten, in denen ein oder mehrere Laute fehlen, z.B. „Poli - ist“. Die Patienten müssen selbstständig und ohne Hilfe das Wort um den fehlenden Laut ergänzen und vollständig reproduzieren („Polizist“). Angaben zur Sensitivität oder Spezifität dieser Untersuchung hinsichtlich der Fragestellung AVWS sind bisher in der Literatur noch nicht gemacht worden.

#### **2.3.7.4.2.9 MAUS Test**

Der speziell für die Fragestellung AVWS entwickelte Test orientiert sich inhaltlich am Sprachaudiogramm im Störgeräusch, dem Mottier-Test und dem Subtest Lautdifferenzierung aus dem H-LAD (Brunner et al. 1998). Die Sensitivität des MAUS Tests wird laut Nickisch et al. mit 97,2% angegeben (Nickisch et al. 2006). Er gliedert sich in die drei Abschnitte Silbenfolgen, Wörter im Störgeräusch sowie Phonemdifferenzierung und -identifikation. Der MAUS Test untersucht neben der auditiven Merkfähigkeit und Lautdifferenzierung auch die

Fähigkeit, auditive Signale hinsichtlich ihrer Phoneme richtig analysieren und reproduzieren zu können und wurde zur Überprüfung von Kindern im Grundschulalter entworfen (Burre 2006). Nach Normierung und Standardisierung wurden T-Wertebereiche für drei unterschiedliche Altersgruppen entwickelt. Die Durchführung dauert ca. 15 Min. (Nickisch et al. 2004). Erhält man im MAUS Test durchgehend durchschnittliche bzw. überdurchschnittliche Ergebnisse, so ist laut Nickisch et al. die Wahrscheinlichkeit, dass eine AVWS vorliegt, äußerst gering (Nickisch et al. 2006). Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand nimmt der MAUS Test den Anspruch eines Screeninginstruments für sich ein, ist als alleiniges Diagnoseverfahren einer AVWS aber nicht einsetzbar (Nickisch et al. 2006).

### **3 Methodik**

#### **3.1 Patientenkollektiv**

Das herangezogene Patientenkollektiv bestand aus 97 Patienten im Alter von 6 – 23 Lebensjahren, die sich zwischen November 2003 bis Juli 2008 in der Pädaudiologie und Phoniatrie der Uniklinik Jena vorgestellt hatten.

Grundbedingungen, um im Rahmen der AVWS-Diagnostik in die Auswertung mit einbezogen zu werden, waren ein unauffälliges Tonschwellenaudiogramm und ein normaler Intelligenzquotient. Aus den Datenanalysen wurden daher vier Patienten wegen einer Schallleitungsschwerhörigkeit, elf Patienten mit einer bestehenden Intelligenzminderung ( $IQ < 85$ ) und fünf Patienten mit Überschreitung des Höchstalters für die vorhandenen Normwerte der psychologischen Untersuchungsmethoden ausgeschlossen.

Die Diagnose der AVWS war gestellt worden, wenn mindestens zwei Untersuchungen unterdurchschnittlich ausfielen, wobei diese Testergebnisse aus jeweils unterschiedlichen Bereichen (subjektive und objektive Untersuchungsmethoden) stammen mussten. Nach diesen Kriterien wurden 32 Kinder mit diagnostizierter AVWS und 45 Kinder, bei denen eine AVWS ausgeschlossen worden war, in unterschiedlichem Maße untersucht. Das ausgewertete Patientenkollektiv bestand somit aus 77 Kindern (68,8 % Jungen, 31,2 % Mädchen) im Alter von 4,2 bis 15,2 Jahren.

In der Gruppe der Kinder mit diagnostizierter AVWS ( $N = 32$ ; 41,6%; im Folgenden als „Kinder mit AVWS“ bezeichnet) betrug das Durchschnittsalter 8,2 Jahre (Median 8,0 Jahre; SD 1,83 Jahre). 37,5% der Kinder waren Mädchen (Mittelwert Alter 8,3 Jahre; Median 8,1 Jahre; SD 1,87 Jahre). 62,5% waren Jungen (Mittelwert Alter 8,1 Jahre; Median 7,9 Jahre; SD 1,85 Jahre).

In der Gruppe der Kinder, bei denen eine AVWS ausgeschlossen worden war ( $N = 45$ ; 58,4%; im Folgenden als „Kinder ohne AVWS“ bezeichnet), betrug das mittlere Alter 8,8 Jahre (Median 8,4 Jahre, SD 2,35 Jahre). 26,7% der Kinder waren Mädchen (Mittelwert Alter 8,7 Jahre; Median 8,5 Jahre; SD 2,13 Jahre) und 73,3% Jungen (Mittelwert Alter 8,8 Jahre; Median 8,0 Jahre; SD 2,47 Jahre).

### 3.2 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden mit dem Statistikprogramm SPSS 15.0 ausgewertet. Es erfolgte die deskriptive Statistik mit der Berechnung der Mittelwerte, der Mediane sowie der Standardabweichung.

Als Signifikanztest wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Dieser parameterfreie Homogenitätstest überprüft die Verteilung zweier Stichproben, die unabhängig zueinander sind (Rumsey 2008). Um den Zusammenhang einiger Untersuchungen zueinander zu untersuchen, wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman berechnet.

Weiterhin wurde die Spezifität und Sensitivität der einzelnen Untersuchungsverfahren berechnet. Als Sensitivität des Tests bezeichnet man den Anteil der richtig Positiven an der Gesamtzahl der Kranken:  $Sensitivität = RP / RP + FN$ . Es ist dies die Eignung des Tests, Personen mit der fraglichen Krankheit möglichst vollständig herauszufiltern. Sie bezieht sich auf den Anteil der Patienten, bei denen eine AVWS anhand der jeweiligen Untersuchungsmethode nachweisbar ist. Unter der Spezifität des Tests versteht man den Anteil der richtig Negativen unter den Gesunden:  $Spezifität = RN / RN + FP$ . Es ist dies die Eignung des Tests, nur die Personen zu erfassen, die an AVWS leiden.

Zusätzlich wurden zu jeder Untersuchungsmethode die Vorhersagewerte bestimmt. Sie entsprechen der geschätzten bedingten Wahrscheinlichkeit.

Der positive Vorhersagewert, der auch als Relevanz und im englischen als „positive predictive value“ bezeichnet wird, bezeichnet den Anteil der als richtig krank erkannten Ergebnisse an den gesamten als krank erkannten Ergebnisse an  $(RP / RP + FP)$ . Er gibt an, wie viele der Kinder, bei denen der Test für eine AVWS spricht, auch tatsächlich an einer AVWS erkrankt sind.

Der negative Vorhersagewert, der auch als Trennfähigkeit oder „negative predictive value“ bezeichnet wird, gibt den Anteil der korrekt als gesund erkannten Ergebnisse in der Gesamtheit der als gesund erhaltenen Ergebnisse an, also wie viele Kinder, bei denen eine AVWS im Testverfahren ausgeschlossen wurde, auch tatsächlich gesund sind  $(RN / RN + FN)$ .

In der statistischen Auswertung wurde berücksichtigt, dass in der Beurteilung der Werte keine Normalverteilung vorlag.

### **3.3 Objektive Testmethoden**

#### **3.3.1 Messung der binauralen Fusion**

Die Untersuchung wurde in einem abgedunkelten und von äußeren Geräuschen und elektrischen Stimuli isolierten Raum durchgeführt. Die zu untersuchenden Kinder lagen während der Testung in einem Liegestuhl. Als Standardstimuli wurden 0,1ms andauernde Clicks gewählt, die bei 70 dB mittels Kopfhörer dargeboten wurden. Die Stimulusrate betrug 20 Clicks / Sekunde. Die non-inverting Elektrode wurde auf der Stirn, die Umkehr-Elektrode auf die Mastoide und die erdende Elektrode über dem linken Schlüsselbein platziert. Zur Messung wurden Scheiben-Elektroden der Marke Ambu Blue sensor P (Ref.: P-00-S/50) verwendet. Um Artefakte zu vermeiden, wurden die Signale 0,8 ms pre-Stimulus und 0,8 ms post-Stimulus geblockt. Die Impedanz betrug  $<3$  kOhm. Zusätzlich wurde ein Elektrodengel (GE Medical Systems, Freiburg) auf die Elektrodenkontakte aufgebracht, um den Übergangswiderstand weiter zu senken ( $< 2$  kOhm). Es erfolgte eine Mittelung über 2000 EEGs, wobei das Amplitudendiskriminationsfenster zur Artefaktbegrenzung deutlich kleiner als  $20 \mu\text{V}$  gewählt wurde. Die Analyse der erworbenen Daten wurde automatisch mittels der Datenanalyse-Software „evoselect“ (Pilot Blankenfelde) durchgeführt. Die Auswertung der Latenzen erfolgte von Hand mittels des Cursors. Bei auffälliger binauraler Fusion wurde versucht, die Ergebnisse zu reproduzieren.

#### **3.3.2 Messung der Mismatch Negativity**

Die Untersuchung wurde in einem normalen Untersuchungsraum durchgeführt, in dem das Licht gelöscht wurde. Während der Messung saß der Patient in einer Liege. Um Artefakte der Augen und Augenlider in den Messwerten zu minimieren, erfolgte während der Untersuchung eine Videosedierung der Kinder. Es wurden jeweils drei unterschiedliche Messungen durchgeführt. Es erfolgte zunächst die Untersuchung mittels Sinustönen. Den Kindern wurden randomisierte Abfolgen der Standard- und Devianzreize dargeboten, das Verhältnis von Standard- zu Devianzstimulus betrug im Mittel 10:1. Der Standardreiz wurde zwischen ein- bis fünfzehnmal angeboten, bevor die Darbietung des devianten Stimulus erfolgte. Der Standardstimulus war in der ersten Messung ein Sinuston von 1 kHz, 70 dB und einer Dauer von 0,15 s. Als devianter Reiz wurde ein Sinuston von 1,2 kHz bei gleicher Lautstärke und



Dauer gewählt. Das Intervall zwischen den einzelnen Stimuli betrug 1 Sekunde. Die Messung wurde mit „Töne 1“ bezeichnet.

In einem zweiten Durchgang wurde als Standard-Stimulus ein Sinuston von 0,7 kHz und ein devianter Sinuston von 2 kHz verwendet. Die Lautstärke und Dauer der Stimuli blieb gegenüber der ersten Messung unverändert. Diese Messung wurde mit „Töne 2“ bezeichnet.

Anschließend wurde die Messung der MMN anhand von Phonemen durchgeführt. Als Standardstimulus wurde das Phonem „Da“ mit 70 dB und einer Dauer von 0,150 s gewählt. Der Deviant war das Phonem „Ga“, das bei gleicher Lautstärke und Dauer angeboten wurde. Zur Veranschaulichung sind das Phonem „Da“ und der Sinuston von 1 kHz in Abb. 3.2.2.1 und 3.2.2.2 grafisch dargestellt.

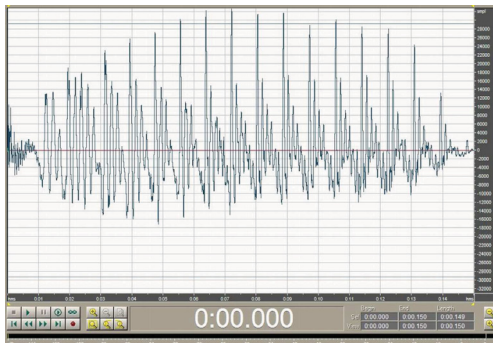


Abbildung 3.2.2.1 Phonem „Da“ bei 70 dB

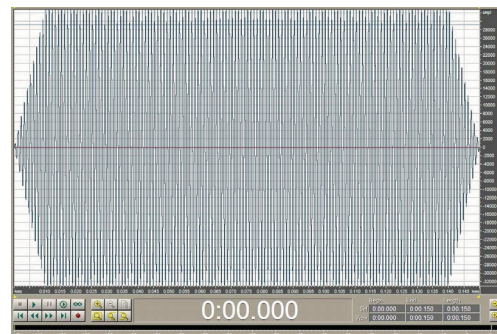


Abbildung 3.2.2.2 Sinuston, 1 kHz bei 70 dB

Die Töne und Phoneme wurden über einen Kopfhörer dichotisch dargeboten. Das EEG wurde an den Kanälen C4, C3, Fz und Cz abgeleitet und mit einem Tiefpassfilter  $\leq 30$  Hz gefiltert. Die Impedanz betrug weniger als 2 k $\Omega$ . Als Ableitelektroden wurden EEG-Napfelektroden verwendet. Die durch die Standardreize und den devianten Stimulus evozierten Potenziale wurden separat extrahiert. Die Daten wurden mittels des Gerätes „evoselect“ von Pilot Blankenfelde aufgenommen und digital am PC analysiert. Der maximal negative Wert des Differenzpotenzials zwischen Standardstimulus und Deviant, gemessen an Fz im Intervall von 150 ms bis 250 ms, wurde als Peak der MMN definiert.

### **3.4 Subjektive Testmethoden**

#### **3.4.1 Richtungshören**

Die Messung erfolgte in einem geschlossenen Untersuchungsraum. Die Untersuchung wurde an 15 Kindern mit AVWS und an 20 Kindern ohne AVWS durchgeführt. Die Kinder saßen im Zentrum des Raumes auf einem Sessel und blickten auf den Lautsprecher, der mit „vorne 0°“ bezeichnet war. Es wurde den Kindern ein Schmalbandrauschen von 1 kHz mit 50 dB SPL als Signalart angeboten, auf dessen Herkunftsort die Patienten per Handzeichen zeigen oder ihn benennen mussten. Die korrekte bzw. inkorrekte Lokalisation wurde durch die den Test durchführende Person, die sich mit im Raum befand, registriert. Die Anbietung des Signals erfolgte randomisiert über vier verschiedene Lautsprecher in den folgenden Positionen: rechts 90°, vorne 0°, hinten 180°, links 90°. Eine korrekte Lokalisation des Schallreizes von unter 80% wurde als auffällig gewertet.

#### **3.4.2 Hören im Störschall**

Zur Überprüfung wurde Material aus dem Mainzer Kindersprachtest verwendet (Mack-Westra CD 4). Die Untersuchung wurde in einem schalldichten und geschlossenen Raum durchgeführt. Den Kindern wurden zu Beginn der Ablauf und die Aufgabenstellung durch die Versuchsleiterin erklärt. Der Störschall wurde frontal mit zunächst 60 dB SPL dargeboten. Im Anschluss erfolgte die Testung bei 65 dB Störschall sowie 70 dB Störschall. Die Wörter aus dem Mainzer Kindersprachtest wurden mit jeweils 65 dB SPL aus Lautsprechern dargeboten, die sich in einem Winkel von 90° links bzw. 90 ° rechts vom Stuhl des Kindes befanden. Es wurde registriert, wie viele Wörter bei verschiedenen Störschallpegeln wahrgenommen und von dem Kind korrekt reproduziert wurden. In der Auswertung der Testergebnisse wurde betrachtet, wie viel Diskriminationsverlust (Differenz der Leistung zu 100 %) die Kinder in den einzelnen Störschallpegeln aufwiesen. Die Ergebnisse im Störschall mit 60 dB werden mit der dreifachen Gewichtung bewertet. Die Befunde beim Störschall mit 65 dB gingen mit dem Faktor zwei in das Endergebnis ein, die Werte im Störschall mit 70 dB wurden mit dem einfachen Gewicht berechnet. Zur Erlangung des Endwertes wurden die einzelnen Diskriminationsverluste, die mit den oben beschriebenen Faktoren multipliziert wurden, addiert. Ein Wert zwischen 200 und 220 galt als auffälliger Leistungsbereich, alle Ergebnisse unter 200 wurden als Normalbefunde gewertet. Ein Abfall von mehr als 25 % bei einem

Störschall von 60 dB bzw. mehr als 40 % bei 65 dB und mehr als 65 % bei einem Störschall von 70 dB wurde als eindeutig pathologischer Wertepunktbereich gewertet.

### **3.4.3 PATSY**

Die Untersuchung wurde mittels des Testgeräts „PATSY basic“ von Pilot Blankenfelde über standardisierte Kopfhörer in einem geschlossenen und schalldichten Raum durchgeführt. Zu Beginn der Untersuchung wurde den Kindern das Gerät durch die durchführende Person erklärt. Bei Beginn jedes Unterabschnittes wurde die nächste Fragestellung zunächst mit den Kindern besprochen und in drei Probe-Testungen überprüft, ob die Kinder die Aufgabenstellung korrekt verstanden hatten. Nach jedem Untertest wurde durch die im Raum anwesende durchführende Person der Prozentwert der richtig bewältigten Aufgaben registriert und ausgewertet. Ein Wert  $\leq 16 \%$  galt als pathologisches Ergebnis in dem betroffenen Subtest. Wurden weniger als drei von fünf möglichen Funktionen bestanden, galt das Endtestergebnis als pathologisch.

### **3.4.4 Dichotischer Hörtest nach Uttenweiler**

Die Durchführung des dichotischen Hörtests erfolgte in einem geschlossenen und schalldichten Untersuchungsraum. Zu Beginn wurde den Patienten die Aufgabenstellung erklärt und monaural geprüft, ob die Kinder die Wörter auf dem linken bzw. rechten Ohr korrekt wieder geben können. Den Kindern wurden verschiedene Substantive mit einem Schallpegel von 70 dB über standardisierte Kopfhörer dargeboten, die von der WESTRA Audiometrie Disc Nr. 5 abgespielt wurden. Es wurden binaural über die Kopfhörer jeweils zwei Substantive zeitsynchron vorgespielt und die Kinder danach aufgefordert, diese korrekt zu reproduzieren. Dieses wurde insgesamt 20-mal wiederholt. Es wurde (pro Ohrseite) durch eine im Raum anwesende Kontrollperson erfasst, ob die Wörter vom Kind vollständig und richtig wieder gegeben wurden. Jedes richtig reproduzierte Paar wurde mit einem Rohpunkt berechnet. Die Artikel der Substantive wurden in der Auswertung nicht mit berücksichtigt. Die maximal erreichbare Punktzahl betrug 20, Ergebnisse unter 60 % der Maximalpunktzahl wurden als auffällig gewertet.

### **3.4.5 Lautdiskriminationstest**

Die Kinder wurden einzeln in einem abgeschlossenen und schallarmen Raum durch eine Psychologin getestet, es wurde der BLDT verwendet. Die Psychologin saß während der Untersuchung im 45°-Winkel von den Kindern abgewandt, um eine Beeinflussung durch die Mimik zu minimalisieren. Zu Beginn wurde den Patienten die Testdurchführung und Aufgabenstellung erklärt. Es wurden den Kindern die verschiedenen Wörter paarweise und ohne Betonung in einer konstanten Geschwindigkeit vorgelesen. Diese Wortpaare unterschieden sich jeweils nur in einem Phonem, z.B. „schleifen - streifen“. Es wurde ermittelt, wie viele der Lautpaare die Kinder korrekt als „gleich“ bzw. „unterschiedlich“ einordnen konnten. Jedes richtig wiedergegebene Wort wurde mit einem Rohpunkt bewertet.

### **3.4.6 Mottier-Test**

Der Test erfolgte in einem abgeschlossenen und schalldichten Untersuchungsraum. Zu Beginn wurde jedem Kind die Durchführung und Aufgabenstellung erklärt. Es wurden insgesamt 30 „Sinnlos-Wörter“ in gleichmäßiger Betonung und langsamer und konstanter Geschwindigkeit durch die Versuchsleiterin vorgesprochen. Die Wörter bestanden dabei zunächst aus zwei Silben und steigerten sich nach fünf Items um jeweils eine Silbe. Anschließend wurden die Patienten aufgefordert, die Wörter zu reproduzieren. Richtig wiedergegebene Wortgebilde wurden mit einem Rohpunkt bewertet, die maximale Punktzahl betrug 30. Ein Ergebnis unter zwei Standardabweichungen des Altersmittelwertes galt als auffällig.

### **3.4.7 K-ABC Zahlen nachsprechen**

Die Untersuchung wurde durch eine Psychologin in einem geschlossenen Raum durchgeführt. Es wurden 19 Zahlenreihen, die mit zwei Zahlen begannen und sich auf acht Zahlen in einer Folge steigerten, verwendet. Es wurde jede Zahlenreihe langsam, deutlich und in konstanter Geschwindigkeit ohne Betonung vorgesprochen. Jede Aufgabe wurde einmal präsentiert. Im Anschluss wurde das Kind aufgefordert, die Zahlenfolge mündlich zu wiederholen. Jede richtig reproduzierte Zahlenreihe wurde mit einem Rohpunkt bewertet. Wurde eine gesamte Aufgabeneinheit, die aus zwei oder drei Testreihen bestand, nicht korrekt wiederholt, galt dies als Testabbruchskriterium. Die Summe aller erreichten Rohpunkte wurde gemäß Testmanual

in einen Normwert transformiert und mit den entsprechenden Normbereichen für das jeweilige Alter verglichen.

### **3.4.8 PET Wörter ergänzen**

Die Kinder befanden sich zum Untersuchungszeitpunkt in einem geschlossenen Raum. Den Kindern wurden die Wörter durch die Psychologin langsam und monoton vorgesprochen, die den Kindern gegenüber saß. Anschließend wurden die Kinder aufgefordert, das unvollständige Wort nach ihrem Ermessen zu ergänzen. Es wurde registriert, wie viele Wörter korrekt vervollständigt werden konnten. Jede korrekte Ergänzung wurde mit einem Rohpunkt bewertet, die Ergebnisse wurden altersgemäß nach Testmanual transformiert und ausgewertet.

### **3.4.9 MAUS Test**

Die Darbietung des gesamten Tests erfolgte vom Tonträger (Westra Audio-CD Nr. 24) bei 65 dB über standardisierte Audiometriekopfhörer. Die Untersuchung wurde in einem abgeschlossenen Raum durchgeführt, während der Testung befand sich eine Kontrollperson mit im Raum. Die Testdauer betrug ca. 15 Minuten. Im ersten Abschnitt wurden dem Kind 18 Silbenfolgen angeboten. Im zweiten Teil wurden Wörter im Störgeräusch verwendet, jeweils monaural mit 12 Items pro Ohr. Im dritten Testabschnitt wurden Sinnlossilben als Testmaterial gewählt. Dem Kind wurde jeweils zu Beginn der einzelnen Untertests die Versuchsdurchführung erklärt. Es wurde registriert, wie die jeweilige Aufgabenstellung vom Kind korrekt bewältigt wurde. Der genaue Inhalt der Untersuchung mit den verschiedenen Items ist der Westra Audio-CD 24 zu entnehmen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Objektive Testmethoden

#### 4.1.1 Messung der binauralen Fusion

Die Messung der binauralen Fusion wurde an 31 Kindern mit AVWS und an 38 Kindern ohne AVWS durchgeführt (n=69). Alle Messungen wurden mit dem Gerät „evoselect“ der Firma Pilot Blankenfelde aufgezeichnet und ausgewertet.

##### Mediane der Latenzen und Amplituden

Die Latenzen und Amplituden der binauralen Fusion (z.B. J5 binaural, DN1 und DN2) wurden hinsichtlich ihrer Mittelwerte, Mediane und Verteilung zwischen den Patientengruppen (38 Kinder ohne AVWS, 31 Kinder mit AVWS) verglichen. Die Mediane der Latenzen sind in Abb. 4.1.1.1 dargestellt.

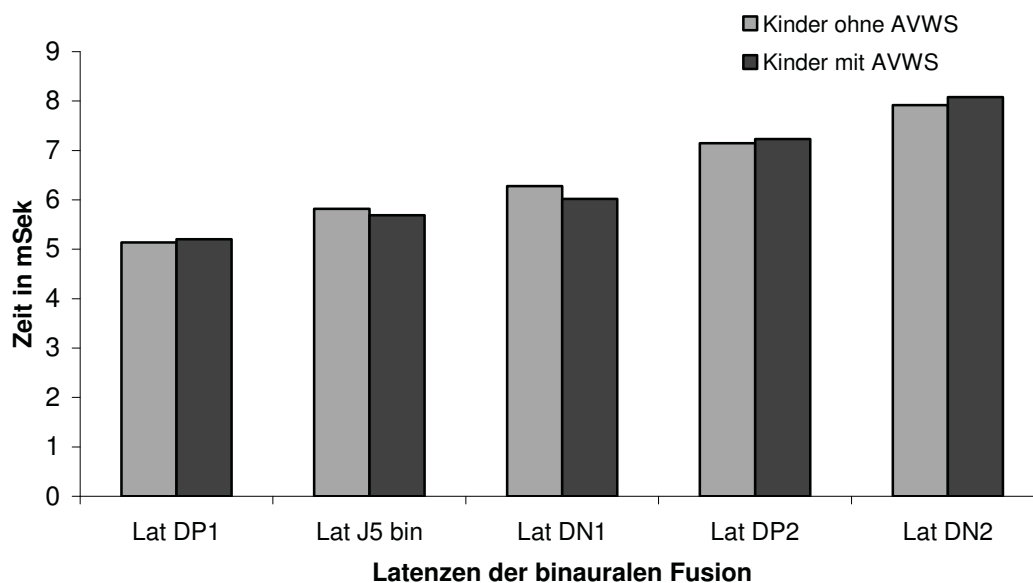
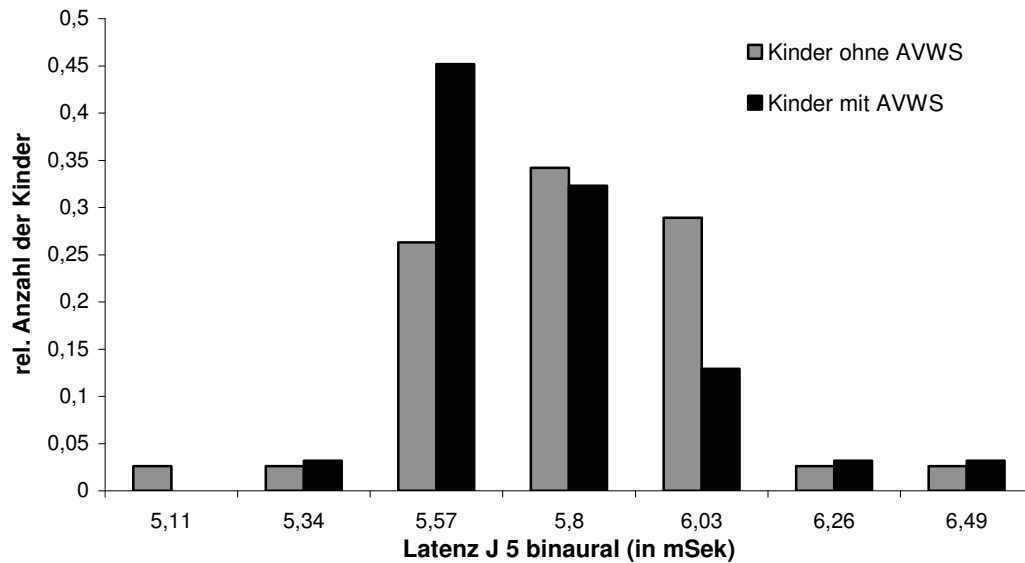


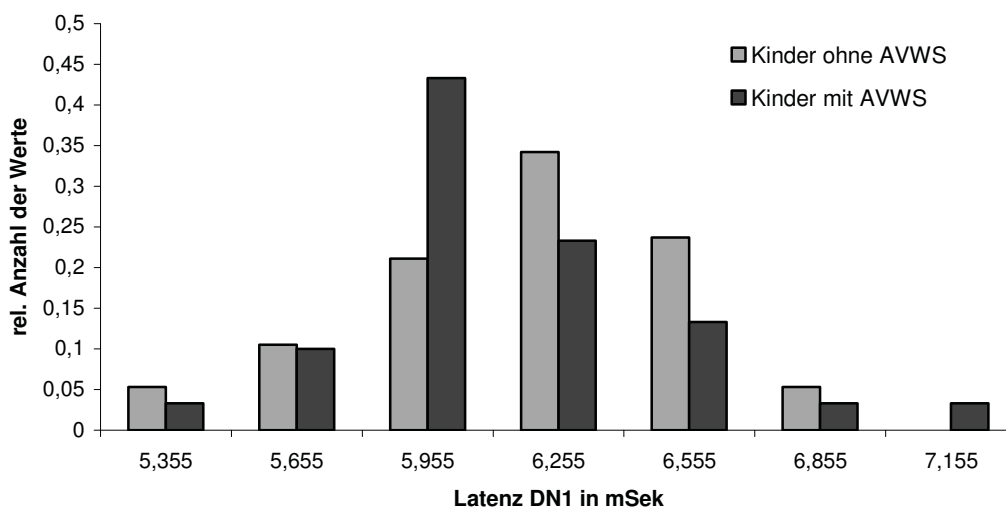
Abbildung 4.1.1.1 Die Mediane der Latenzen der binauralen Fusion von Kindern ohne AVWS (n=38) und Kindern mit AVWS (n=31)

##### Rel. Verteilung der Latenz J5 binaural und Latenz DN1

Die relative Werteverteilung der Latenz J 5 binaural ist Abb. 4.1.1.2 zu entnehmen, die Verteilung der Latenz DN1 ist in Abb. 4.1.1.3 dargestellt.



**Abbildung 4.1.1.2** Relative Werte Verteilung der Latenz J5 binaural der binauralen Fusion, gemessen an 38 Kindern ohne AVWS und 31 Kindern mit AVWS, in mSek



**Abbildung 4.1.1.3** Relative Werte Verteilung der Latenz DN1 der binauralen Fusion, gemessen an Kindern ohne AVWS (n=38) und Kindern mit AVWS (n=31), in mSek

Die einzelnen Komponenten der binauralen Fusion wurden hinsichtlich eines bestehenden Unterschiedes zwischen beiden Patientengruppen mittels Mann-Whitney-U-Test (s. Abschn. 3.3) analysiert. Dabei fand sich für die Latenz J5 binaural ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Patientengruppen mit  $p \leq 0,05$  (s. Tab. 4.1.1.1). Die binaurale Fusion wurde je nach zeitlichem Auftreten der Latenz DN1 zur Latenz J5 links und Latenz J5 rechts beurteilt. Trat die Latenz DN1 vor den Latenz J5 links und rechts oder 1ms danach auf, wurde die binaurale Fusion als pathologisch bewertet. Weiterhin musste B/ (L+R) und B/S im Verhältnis zwischen 75-95% liegen (s. Abschnitt 2.3.7.4.1.1).

### Differenz der Latenz DN1 und Latenz J5 binaural

Nach dem Vergleich der Latenzen zueinander wurden Differenzen zwischen den verschiedenen Latenzen berechnet (z.B. Differenz der DN1 zur Welle 5 binaural, angegeben im Betrag). Es wurde mittels Mann-Whitney-U-Test (s. Abschn. 3.3) ermittelt, ob zwischen der Patientengruppe mit AVWS und der Gruppe ohne AVWS ein signifikanter Unterschied besteht. In der Differenz der Latenz DN1 zur Latenz 5 binaural konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Patientengruppen festgestellt werden (s. Tab. 4.1.1.1).

### Differenz Latenz DN2 und Latenz J5 binaural

Es wurde die Differenz zwischen Latenz DN2 und Latenz J5 binaural gebildet. Die grafische Darstellung der relativen Werteverteilung ist in der Abb. 4.1.1.4 veranschaulicht.

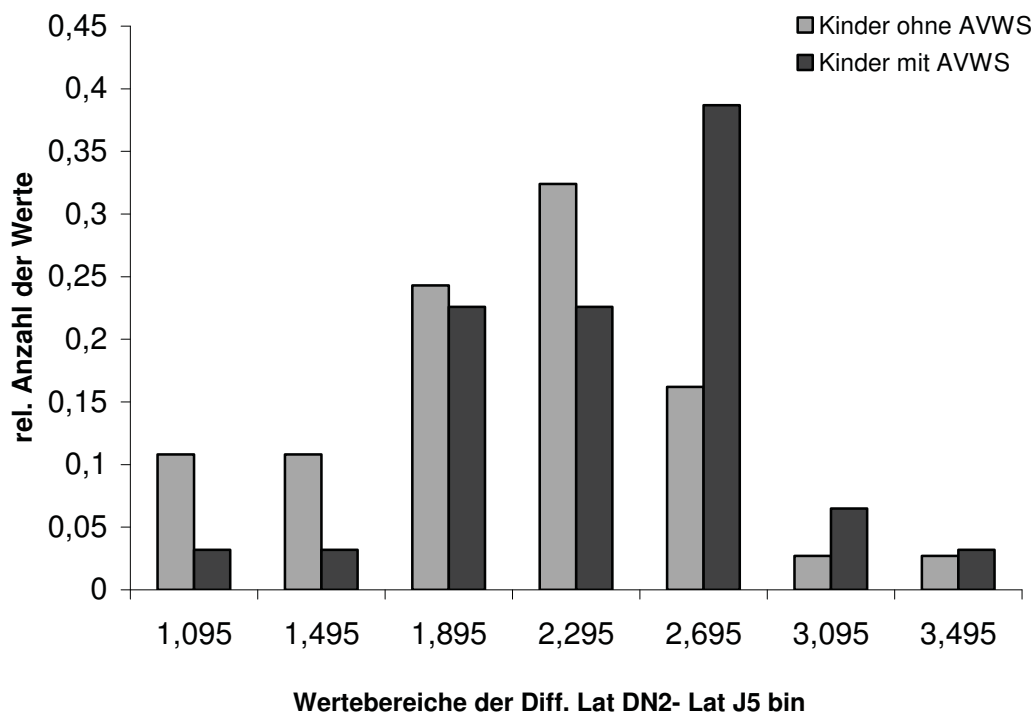


Abbildung 4.1.1.4: Verteilung der Differenz Latenz DN2 (=Lat DN2) - Latenz J 5 binaural (=Lat J5 bin) von 38 Kindern ohne AVWS und 31 Kindern mit AVWS, angegebenes Gruppenmittel auf X-Achse



In der statistischen Untersuchung mittels Mann-Whitney-U-Test fand sich für die Differenz aus diesen beiden Latenzen ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Patientengruppen ( $p \leq 0,01$ , siehe Tab. 4.1.1.1).

Tabelle 4.1.1.1 Statistische Signifikanzniveaus der Komponenten der binauralen Fusion zwischen 38 Kindern ohne AVWS und 31 Kindern mit AVWS (Lat = Latenz, Amp = Amplitude), (\* =  $p \leq 0,05$ , \*\* =  $p \leq 0,01$ ), mittels Mann-Whitney-U-Test

	Exakte zweiseitige Signifikanz <i>p</i>
Lat J 5 Bin	<b>0,044 *</b>
Lat DN1	0,153
Amp DN1	0,197
Lat DN2	0,790
Amp DN2	0,466
Lat DN1 - Lat J5 bin	0,367
Lat DN 2 - Lat J 5 bin	<b>0,010 **</b>

#### 4.1.2 Messung der Mismatch Negativity

Die Latenzen und Amplituden der Töne 1 (=T1; 1/1,2 kHz), Töne 2 (= T2; 0,7/2 kHz) sowie Phoneme (= Phon) wurden zwischen den Patientengruppen (39 Kindern ohne AVWS, 26 Kindern mit AVWS) verglichen. Es fiel auf, dass sich die Komponenten der MMN zum Teil deutlich zwischen den Patientengruppen unterschieden. Kinder ohne AVWS erhielten niedrigere Mediane für die Latenzen und größere Werte für die Amplituden als Kinder mit AVWS. In der Messung Töne 2 betrug beispielsweise der Median der Latenz C4 bei Kinder ohne AVWS 175 ms (= Messung T2C4), wohingegen AVWS-Kinder eine Latenz C4 von 207 ms aufwiesen. Die Unterschiede zwischen den Patientengruppen lassen sich aus Abb. 4.1.2.1 (Latenzen) und Abb. 4.1.2.2 (Amplituden) nachvollziehen.

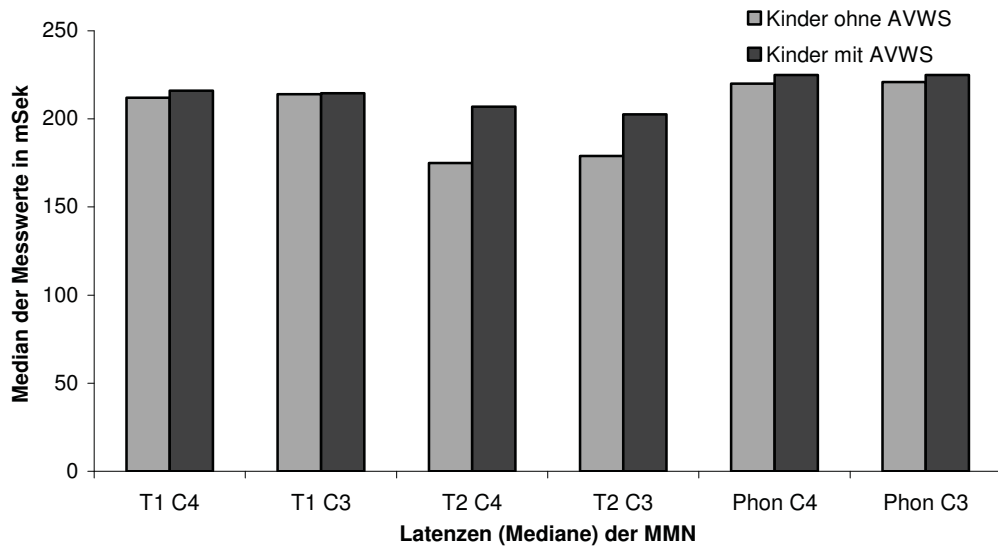


Abbildung 4.1.2.1 Die Mediane der MMN Latenzen in mSek, gemessen an 39 Kindern ohne AVWS und 26 Kindern mit AVWS (T= Töne, Phon= Phoneme, C4= Ableitung C4, C3= Ableitung C3)

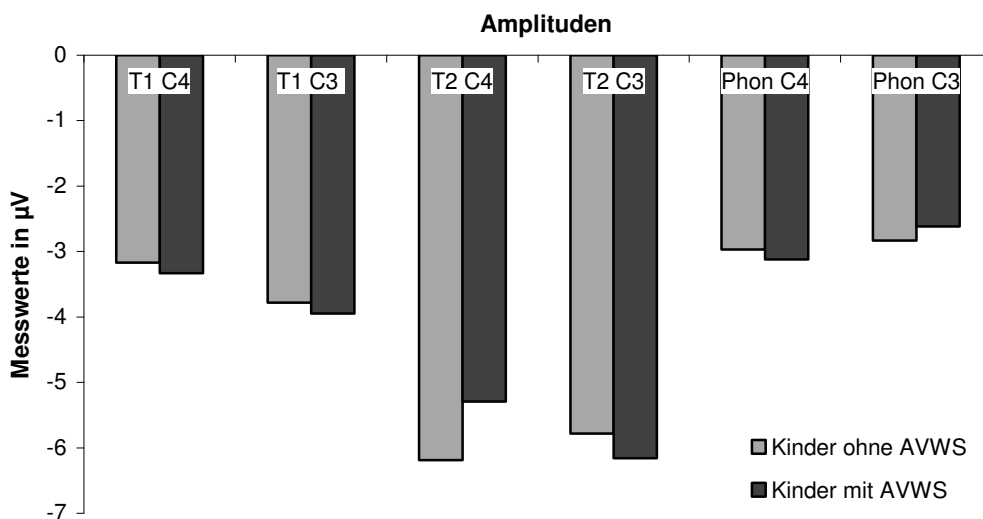


Abbildung 4.1.2.2 Die Mediane der Amplituden der MMN in  $\mu V$ , gemessen an 39 Kindern ohne AVWS und 26 Kindern mit AVWS (T= Töne, Phon= Phoneme)

In der statistischen Untersuchung wurden mittels Mann-Whitney-U-Test (s. Abschn. 3.3) die Latenzen und Amplituden der MMN hinsichtlich eines bestehenden Unterschiedes zwischen beiden Patientengruppen ausgewertet. Hierbei fand sich für die Latenz C4 der Töne 2 (0,7 zu 2 kHz) ein signifikanter Unterschied mit  $p \leq 0,05$  (siehe Tab. 4.1.2.1)

Tabelle 4.1.2.1 Statistische Auswertung der MMN-Komponenten mittels Mann-Whitney-U-Test, Kinder ohne AVWS (n=39) und Kinder mit AVWS (n=26), (\*= $p \leq 0,05$ )

<i>Signifikanz p</i>				
Reiz	Latenzen		Amplituden	
	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
Töne 1	0,556	0,692	0,300	0,772
Töne 2	0,239	<b>0,039 *</b>	1,000	0,553
Phoneme da – ga	0,419	0,474	0,374	0,772

## 4.2 Subjektive Testmethoden

### 4.2.1 Richtungshören

Es wurde untersucht, ob sich die Ergebnisse des Richtungshörens zwischen der Patientengruppe mit AVWS und der Gruppe der Kinder ohne AVWS signifikant voneinander unterscheiden. In die Auswertung wurden die separaten Schallquelllokalisationen sowie das erreichte Gesamtergebnis im Richtungshörtest von 20 Kindern ohne AVWS und 15 Kindern mit AVWS einbezogen. Die Daten wurden mittels Mann-Whitney-U-Test analysiert. In keiner der verschiedenen Schallquelllokalisationen fand sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Populationen. Auch in dem Gesamtergebnis bestand keine signifikante Differenz zwischen den Patientengruppen. Die statistischen Ergebnisse sind in Tab. 4.2.1.1 aufgeführt. Die grafische Darstellung der Gesamtergebnisse zwischen Kindern ohne AVWS und Kindern mit AVWS ist Abb. 4.2.1.1 zu entnehmen.

Tabelle 4.2.1.1 Auswertung des Richtungshörtests zwischen Kindern ohne AVWS (n=20) und Kindern mit AVWS (n=15), mittels Mann-Whitney-U-Test

<i>Signifikanz p</i>							
<b>Richtungshören</b>	rechts 90°	rechts 45°	Vorne 0°	Hinten 180°	links 90°	links 45°	Gesamt
Exakte Signifikanz (2-seitig)	0,565	0,565	0,712	0,721	1,000	1,000	0,619

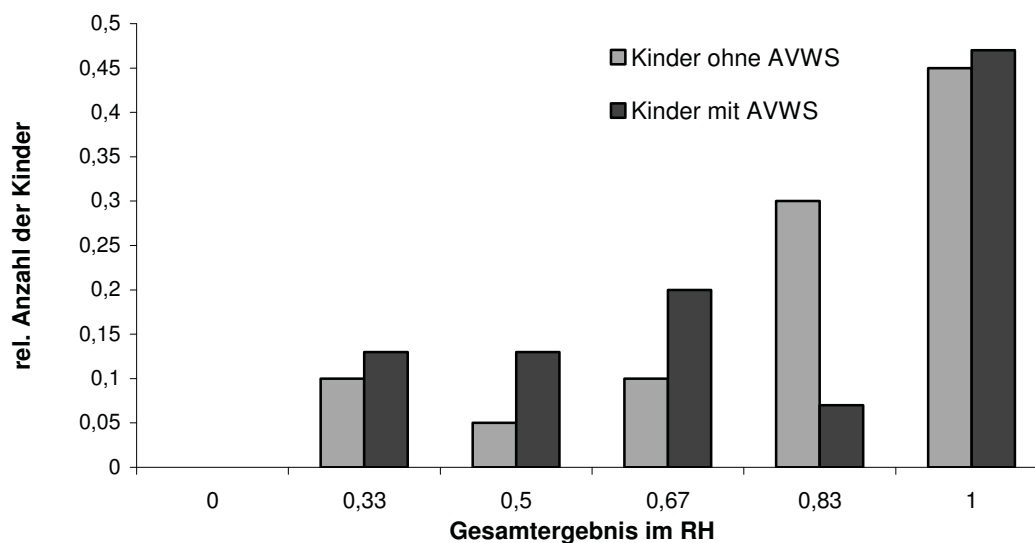


Abbildung 4.2.1.1 Ergebnisse des Richtungshörtests Kinder ohne AVWS (n=20) und Kinder mit AVWS (n=15), 0= keine Lokalisation richtig erkannt, 1= alle richtig erkannt

## 4.2.2 Hören im Störschall

Mess- und Auswertemethoden wurden wie in Abschnitt 3.3.2 beschrieben in das Endergebnis eingerechnet. Im Anschluss wurden die Ergebnisse der Patienten mit AVWS mit den Ergebnissen der Kinder ohne AVWS verglichen. Kinder ohne AVWS erhielten für das rechte Ohr im Mittel einen Wert von 109,21 Rohpunkten (SD: 39,50) und 116,25 Rohpunkte für das linke Ohr (SD: 41,91). Dahingegen lag der Mittelwert in der AVWS-Gruppe rechts mit 202,71 Rohpunkten (SD: 74,59) im auffälligen Bereich. Links erzielten die AVWS-Patienten im Mittel 169,67 Punkte (SD: 59,56). Die Werte sind Tab. 4.2.2.1 zu entnehmen.

Tabelle 4.2.2.1 Mittelwerte vom Hören im Störschall im Vergleich

Hören im Störschall	Mittelwerte	
	rechtes Ohr	linkes Ohr
<b>Kinder ohne AVWS</b>	109,21	116,25
<b>Kinder mit AVWS</b>	<i>202,71</i>	169,67

Im statistischen Vergleich der Gesamtergebnisse mittels Mann-Whitney-U-Test (s. Abschn. 3.3) für das rechte und linke Ohr fand sich in beiden Fällen ein hochsignifikanter Unterschied zwischen beiden Patientengruppen (re. Ohr:  $p \leq 0,01$  , li. Ohr  $p \leq 0,01$ , s. Tab. 4.2.2.2).

Tabelle 4.2.2.2 Statistische Auswertung des Hörens im Störschall von Kindern ohne AVWS (n=33) und Kindern mit AVWS (n=24) mittels Mann-Whitney-U-Test, \* =  $p \leq 0,05$  , \*\* =  $p \leq 0,01$

Hören im Störschall	Signifikanz <i>P</i>	
	rechtes Ohr	linkes Ohr
Exakte Signifikanz, 2-seitig	<b>0,001 **</b>	<b>0,002**</b>

### 4.2.3 PATSY

Es wurden die Ergebnisse beider Populationen miteinander verglichen. Die Mittelwerte der jeweiligen Gruppe sind Tab. 4.2.3.1 zu entnehmen. Kinder mit AVWS bestanden im Mittel 1,92 Subtests (SD: 1,547), während Kinder ohne AVWS 2,95 Untersuchungen (SD: 2,337) bestanden.

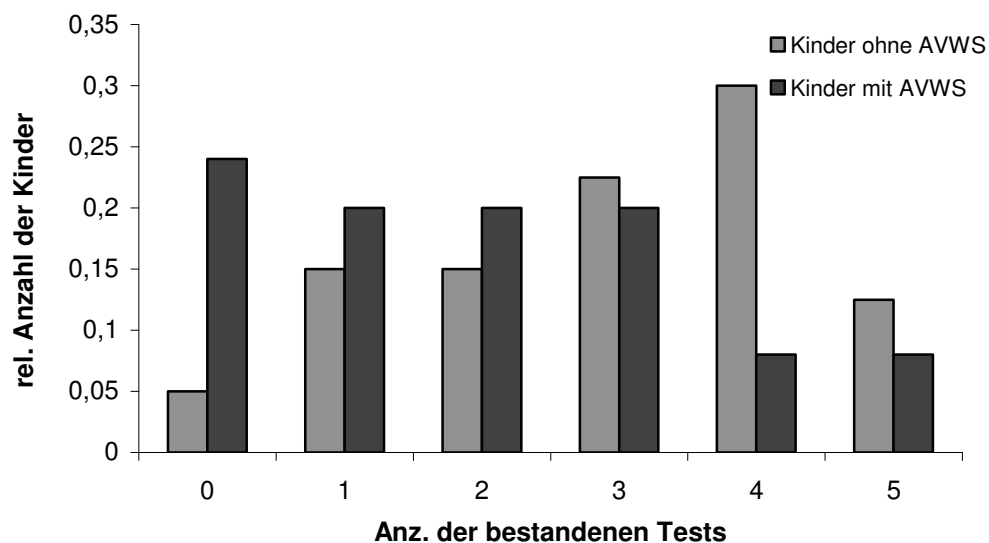
Tab. 4.2.3.1 Die im Mittel bestandenen PATSY-Subtests, Kinder ohne AVWS und Kinder mit AVWS

	Mittelwerte
Kinder ohne AVWS	2,95
Kinder mit AVWS	1,92

Anschließend wurde mittels Mann-Whitney-U-Test (s. Abschn. 3.3) untersucht, wie viele der 5 Untertests von jedem Patienten mit  $\geq 16$  % absolviert wurden. Hierbei fand sich ein hochsignifikanter Unterschied zwischen der Gruppe mit AVWS und den Kindern ohne AVWS mit einer Signifikanz von  $p \leq 0,01$  (s. Tab. 4.2.3.2). Die Anzahl der bestandenen Untertests lässt sich in Abb. 4.2.3.1 grafisch nachvollziehen.

Tabelle 4.2.3.2 Statistischer Unterschied der PATSY-Ergebnisse zwischen Kindern ohne AVWS (n=40) und Kindern mit AVWS (n=24) mittels Mann-Whitney-U-Test (\* =  $p \leq 0,05$  , \*\* =  $p \leq 0,01$ )

PATSY	Signifikanz <i>p</i>
Exakte Signifikanz (2-seitig)	<b>0,009 **</b>



**Abbildung 4.2.3.1** Grafische Verteilung der Anzahl der bestanden Tests (Testergebnis  $\geq 16\%$ ) des PATSY, von 40 Kindern ohne AVWS und 24 Kindern mit AVWS

Es fiel auf, dass die einzelnen Untertests zum Teil sehr unterschiedlich von den Patienten gemeistert wurden, unabhängig ob an AVWS erkrankt oder nicht. Die einzelnen Verteilungen sind daher getrennt für die Patientengruppen in den Tabellen 4.2.3.3 und 4.2.3.4 noch einmal dargestellt.

**Tabelle 4.2.3.3** Verteilung der 5 PATSY-Untertests bei 24 Kindern mit AVWS, Untertest mit mehr als/ gleich 16 % bestanden = geschwärzt, nicht bestanden = X

Pat. Nr	Tonhöhe	Tonlücke	Tonpegel	Zeitordnung	Seitenordnung
2	x	x	x	x	
11		x	x		x
13		x		x	x
17		x	x		
20	x	x	x	x	
21	x	x	x	x	
24	x	x	x	x	x
25	x	x		x	
27		x	x		
36	x			x	
42	x	x	x	x	x
44	x	x	x	x	x
52		x		x	x
54	x	x	x	x	x
60		x	x	x	x
62					
67					
68	x	x	x	x	x
71	x	x		x	x
86		x	x		
88				x	x
93			x	x	x
95		x		x	
102	x	x	x	x	x

Tabelle 4.2.3.4 Die Verteilung der 5 Untertests des PATSY bei 40 Kindern ohne AVWS, Untertest mit mehr als/ gleich 16 % bestanden = geschwärzt, nicht bestanden = X

Pat. Nr	Tonhöhe	Tonlücke	Tonpegel	Zeitordnung	Seitenordnung
3					
4		x			
5		x	x		
6	x	x	x	x	x
8					
10			x		x
19		x	x	x	x
22					
23		x		x	
26		x	x	x	x
28					
32		x	x	x	x
33					
34		x			
37		x			x
38	x	x			x
40		x			x
41		x			x
46	x		x	x	
47	x		x	x	
49					x
53					x
56	x	x	x	x	x
57					
61			x		x
69					x
74					x
75		x	x		
76		x	x	x	x
77				x	
79		x			
80				x	
81		x	x	x	x
82	x			x	
84			x		
90			x	x	x
91		x	x	x	x
96		x		x	x
97		x			
98		x	x	x	

#### 4.2.4 Dichotischer Hörtest nach Uttenweiler

Es wurden die Ergebnisse der Gruppe „Kinder ohne AVWS“ mit der Gruppe „Kinder mit AVWS“ verglichen. Kinder mit AVWS erreichten im Mittel ein unterdurchschnittliches Ergebnis von 49,44% (SD: 48,70). Kinder ohne AVWS erreichten mit 73,47% einen Mittelwert in Normbereich (SD: 76,15). Die Werte sind in Tab. 4.2.4.1 dargestellt.

Tab. 4.2.4.1 Die Mittelwerte im dichotischen Hörtest nach Uttenweiler

	Mittelwert (in %)
Kinder ohne AVWS	73,47
Kinder mit AVWS	49,44

In der statistischen Untersuchung mittels Mann-Whitney-U-Test (s. Abschn. 3.3) zeigte sich zwischen den Populationen ein signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,05$ , siehe Tab. 4.2.4.2). Die grafische Darstellung der Einteilung in „Test bestanden“ ( $\geq 60\%$ ) bzw. „Testergebnis unterdurchschnittlich“ ( $< 60\%$ ) ist Abb. 4.2.4.1 zu entnehmen.

Tabelle 4.2.4.2 Statistischer Vergleich des dichotischen Hörtest von Kindern mit AVWS (n=25) und Kindern ohne AVWS (n=39), mittels Mann-Whitney-U-Test (\* =  $p \leq 0,05$ , \*\* =  $p \leq 0,01$ )

Dichotischer Hörtest	Signifikanz $p$
Exakte Signifikanz (2-seitig)	<b>0,019 *</b>

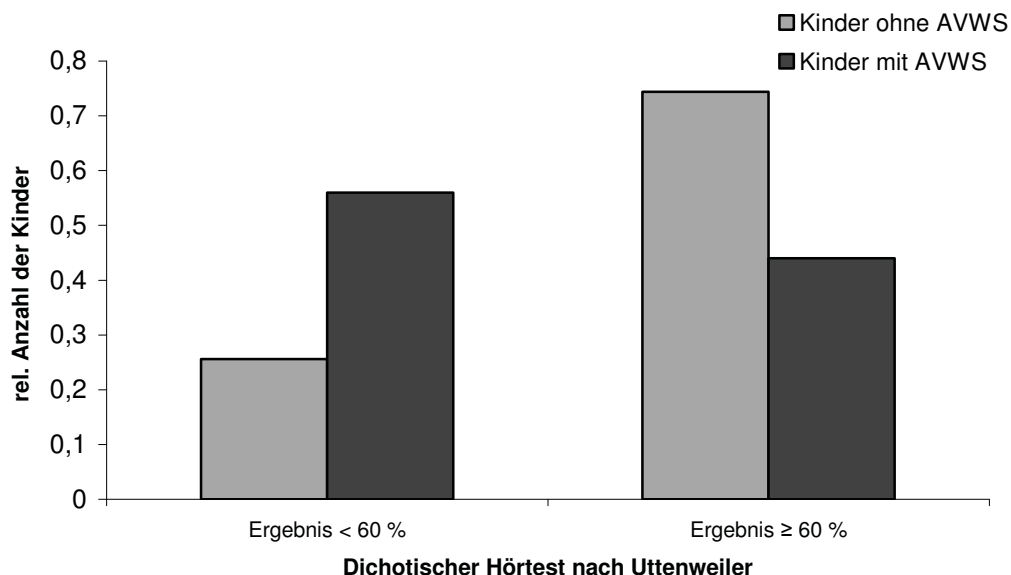


Abbildung 4.2.4.1 Relative Anzahl der unterdurchschnittlichen und bestanden Testwerte im dichotischen Hörtest von Kindern ohne AVWS (n=39) und Kindern mit AVWS (n=25)

## 4.2.5 Lautdiskriminationstest

Nach Durchführung des BLDT wurden die Ergebnisse zwischen den Patientengruppen verglichen. Mit ca. 63,6 % erreichte ein Großteil der Kinder ohne AVWS ein Endergebnis im Normbereich, während mit 66,7 % der Hauptteil der Patienten mit AVWS ein unterdurchschnittliches Ergebnis erzielte. Diese Ergebnisse sind in Abb. 4.2.5.1 grafisch dargestellt.



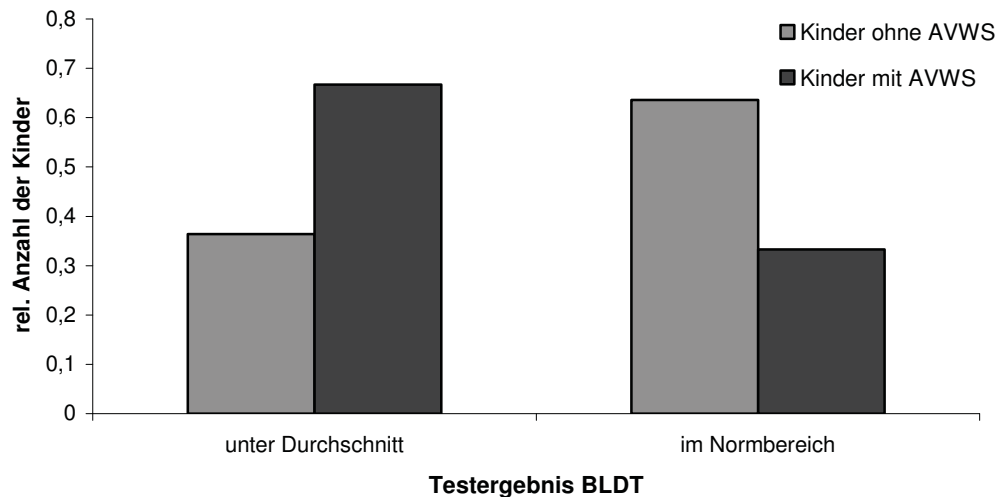


Abbildung 4.2.5.1: Die Ergebnisse des BLDT von 33 Kindern ohne AVWS und 24 Kindern mit AVWS

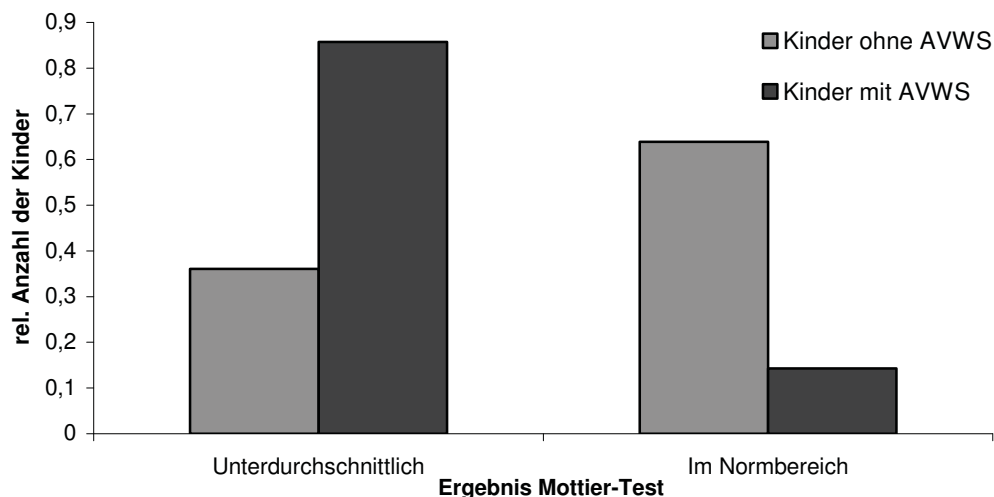
In der statistischen Untersuchung mittels Mann-Whitney-U-Test konnte ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Patientengruppen festgestellt werden ( $p \leq 0,05$ , s. Tab. 4.2.5.1).

Tabelle 4.2.5.1: Statistische Auswertung des BLDT von 33 Kindern ohne AVWS und 24 Kindern mit AVWS mittels Mann-Whitney-U-Test (\* =  $p \leq 0,05$ , \*\* =  $p \leq 0,01$ )

BLDT	Signifikanz $p$
Exakte Signifikanz (2-seitig)	0,033 *

#### 4.2.6 Mottier-Test

Die Ergebnisse des Mottier-Tests wurden zwischen den Patientengruppen verglichen. Während 63,9% der Kinder ohne AVWS (n=36) normale Ergebnisse erreichten, fiel das Testergebnis bei 85,7% der Kinder mit AVWS (n=28) unterdurchschnittlich aus. Die relative Verteilung der Ergebnisse in „unterdurchschnittlich“ und „durchschnittlich“ ist in Abb. 4.2.6.1 grafisch dargestellt.



**Abbildung 4.2.6.1:** Ergebnisse des Mottier-Tests von 36 Kindern ohne AVWS und 28 Kindern mit AVWS

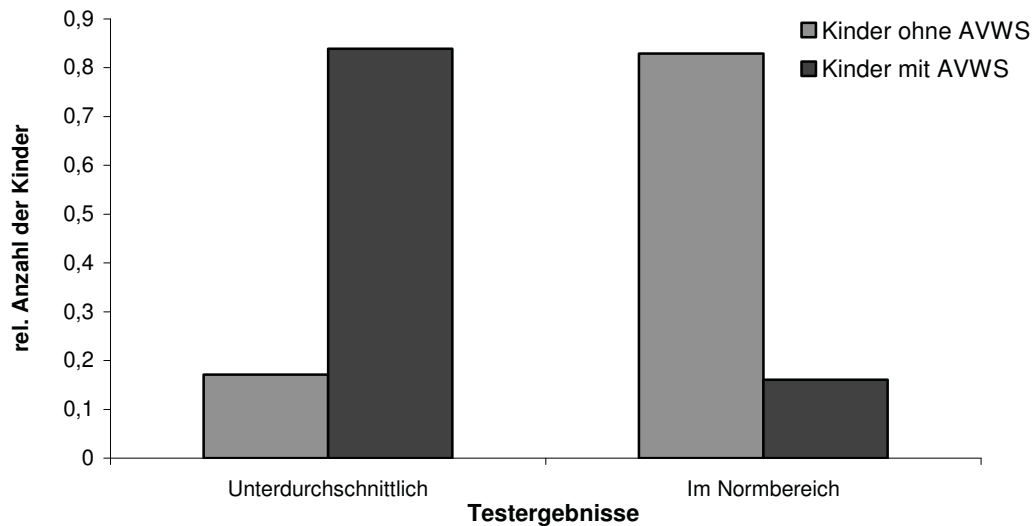
In der statistischen Untersuchung der Werte mittels Mann-Whitney-U-Test (s. Abschn. 3.3) fand sich ein hochsignifikanter Unterschied hinsichtlich der erreichten Endergebnisse zwischen beiden Patientengruppen ( $p \leq 0,01$ , siehe Tab. 4.2.6.1).

**Tabelle 4.2.6.1:** Statistischer Vergleich der Ergebnisse des Mottier-Tests von 36 Kindern ohne AVWS und 28 Kindern mit AVWS mittels Mann-Whitney-U-Test (\* =  $p \leq 0,05$ , \*\* =  $p \leq 0,01$ )

Mottier-Test	Signifikanz $p$
Exakte Signifikanz (2-seitig)	<b>0,001 **</b>

#### 4.2.7 K-ABC Zahlen nachsprechen

Die Ergebnisse des Subtests „Zahlen nachsprechen“ (= ZN) wurden zwischen den Kindern mit AVWS und den Kindern ohne AVWS verglichen. Die relative Verteilung der Testergebnisse (in „unterdurchschnittlich“ und „im Normbereich“) der Kinder ohne AVWS ( $n=41$ ) und den AVWS-Patienten ( $n=31$ ) ist in Abb. 4.2.7.1 grafisch dargestellt. Während mehr als 80 % (87,18%) der Kinder ohne AVWS normale Testergebnisse erreichten, fielen fast 80% (78,79%) der Kinder mit AVWS durch einen unterdurchschnittlichen Testwert auf.



**Abbildung 4.2.7.1:** Grafische Gegenüberstellung der Ergebnisse des K-ABC Subtests „Zahlen nachsprechen“ zwischen 41 Kindern ohne AVWS und 31 Kindern mit AVWS

Der statistische Vergleich der Endergebnisse mittels Mann-Whitney-U-Test (s. Abschn. 3.3) ergab einen hochsignifikanten Unterschied zwischen gesunden Kindern und den Patienten mit AVWS ( $p \leq 0,01$ , siehe Tab. 4.2.7.1).

**Tabelle 4.2.7.1:** Vergleich des K-ABC Subtests „Zahlen nachsprechen“ zwischen 41 Kindern ohne AVWS und 31 Kindern mit AVWS mittels Mann-Whitney-U-Test (\* =  $p \leq 0,05$ , \*\* =  $p \leq 0,01$ )

Zahlen nachsprechen	Signifikanz $p$
Exakte Signifikanz (2-seitig)	<b>0,001 **</b>

#### 4.2.8 PET Wörter ergänzen

Die Endergebnisse des Subtests Wörter ergänzen (=WE) wurden zwischen den AVWS-Patienten und den Kindern ohne AVWS verglichen. In der Gruppe der Kinder ohne AVWS erreichten ca. 72% ein durchschnittliches Testergebnis, während mit ca. 79 % ein Großteil der AVWS-Gruppe ein unterdurchschnittliches Ergebnis erlangte. Die Ergebnisverteilung in „im Normbereich“ und „unterdurchschnittlich“ ist in Abb. 4.2.8.1 grafisch nachzuvollziehen.

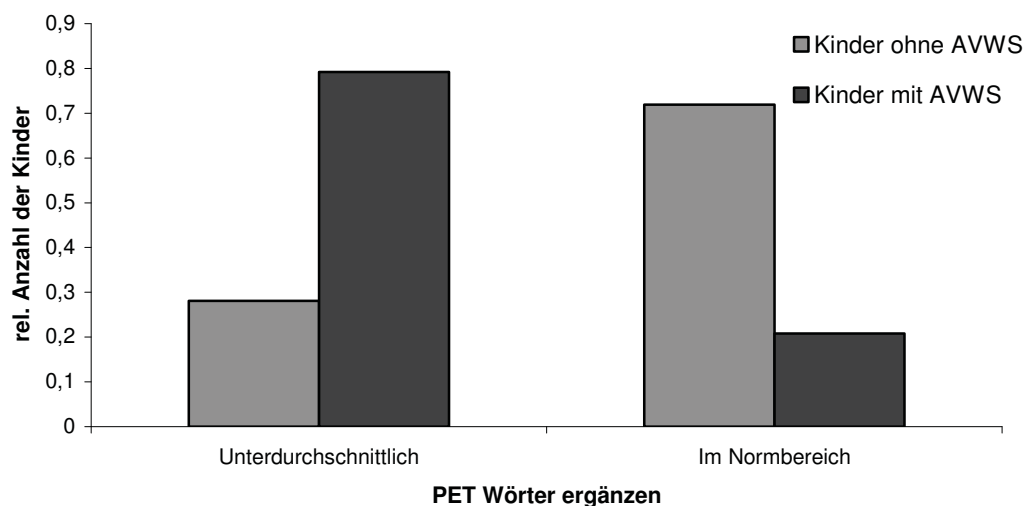


Abbildung 4.2.8.1: Die Ergebnisse des PET WE von 32 Kindern ohne AVWS und 24 Kindern mit AVWS

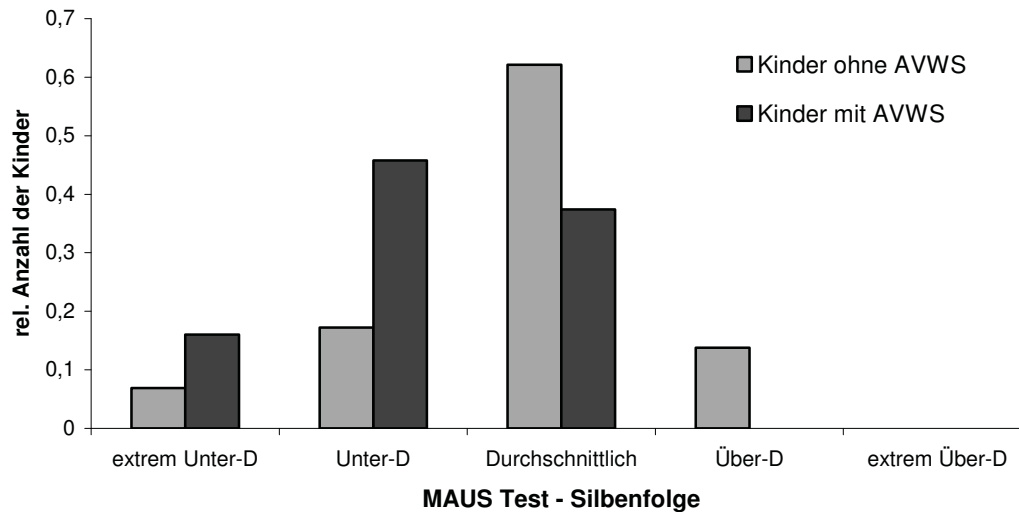
In der statistischen Untersuchung mittels Mann-Whitney-U-Test (s. Abschn. 3.3) fand sich ein hochsignifikanter Unterschied von  $p \leq 0,01$  bezüglich der Endergebnisse zwischen beiden Populationen (s. Tab. 4.2.8.1)

Tabelle 4.2.8.1: Statistischer Vergleich des PET WE zwischen 32 Kindern ohne AVWS und 24 Kindern mit AVWS mittels Mann-Whitney-U-Test, (\* =  $p \leq 0,05$ , \*\* =  $p \leq 0,01$ )

Wörter ergänzen	Signifikanz $p$
Exakte Signifikanz (2-seitig)	0,002 **

#### 4.2.9 MAUS Test

Die Ergebnisse der Subtests wurden zwischen den Gruppen verglichen. Kinder ohne AVWS erzielten im Mittel bei 4,2 Subtests ein mindestens durchschnittliches Ergebnis, während Kinder mit AVWS im Mittel nur drei der sechs Untertests durchschnittlich oder besser absolvierten. Besonders im Abschnitt „Silbenfolge“ erzielten Kinder ohne AVWS häufiger ein gutes Ergebnis. Es bestanden 75,86% der Kinder ohne AVWS diesen Untertest mit mindestens durchschnittlichem Ergebnis, während dieses nur 37,5% der Kinder mit AVWS erreichten. Die grafische Darstellung der Ergebnisse im Silbenfolgetest ist Abb. 4.2.9.1 zu entnehmen.



**Abbildung 4.2.9.1** Ergebnisse des Silbenfolge-Tests von 29 Kindern ohne AVWS und 24 Kindern mit AVWS

In der statistischen Untersuchung mittels Mann-Whitney-U-Test (s. Abschn. 3.3) fand sich für die Silbenfolge ein hochsignifikanter Unterschied von  $p \leq 0,01$  (s. Tab. 4.2.9.1).

Bei Betrachtung des Tests „Phonemidentifizierung“ fiel auf, dass 65,52 % der Kinder ohne AVWS die Untersuchung mindestens durchschnittlich bestanden, während dieses in der Gruppe mit AVWS nur in 45,83% der Fall war. Im statistischen Vergleich fand sich jedoch kein signifikanter Unterschied. Ebenso lagen die mittels Mann-Whitney-U-Test ermittelten Werte in den Teilttests „Wörter im Störgeräusch re“, „Wörter im Störgeräusch li“, „Wörter im Störgeräusch ges.“ sowie „Phonemdifferenzierung“ über den Signifikanzniveaus.

Im Vergleich der Gesamtzahl der mindestens durchschnittlich absolvierten Untersuchungen zeigte sich ein signifikanter Unterschied von  $p \leq 0,05$  bezüglich der Endergebnisse zwischen beiden Populationen (s. Tab. 4.2.9.1).

Tabelle 4.2.9.1 Statistischer Vergleich des MAUS Tests zwischen 29 Kindern ohne AVWS und 24 Kindern mit AVWS mittels Mann-Whitney-U-Test,  $* = p \leq 0,05$ ,  $** = p \leq 0,01$

MAUS Test	Exakte Signifikanz $p$
Silbenfolge	<b>0,003 **</b>
Wörter im Störgeräusch rechts	0,234
Wörter im Störgeräusch links	0,867
Wörter im Störgeräusch gesamt	0,095
Phonemdifferenzierung	0,107
Phonemidentifizierung	0,060
Anzahl mind. durchschnittlich absolvierter Tests	<b>0,027 *</b>

Es wurde untersucht, in wie weit die einzelnen Subtests zueinander korrelieren. Hierzu wurde der Spearman-Koeffizient (s. Abschn. 3.3) zwischen allen Subtests des MAUS Tests errechnet. Bei jedem Subtest bestand eine signifikante Korrelation auf dem Niveau von 0,05 bzw. 0,01 mit anderen Untertests. Die Gesamtanzahl der bestandenen Subtests korrelierte mit jedem Untertest auf einem signifikanten Niveau. Diese Werte sind in den Tab. 4.2.9.2 und 4.2.9.3 dargestellt. Die ersten Werte in jeder Spalte geben den Korrelationskoeffizienten nach Spearman an, die Werte in Klammern die zweiseitige Signifikanz.

Tabelle 4.2.9.2 Die Korrelation aller Subtests des MAUS Test mit den Untertests „Silbenfolge“ sowie „Störgeräusch“ rechts, links und insgesamt; 1.Wert=Korrelationskoeffizient nach Spearman, 2.Wert (in Klammern)= 2-seitige Signifikanz, \*= $p \leq 0,05$ ; \*\*= $p \leq 0,01$

Korrelation Subtests MAUS		Silbenfolge	Störgeräusch		
			rechts	Links	ges.
Silbenfolge		--	0,241 (0,082)	0,257 (0,063)	0,213 (0,125)
Störgeräusch	re.	0,241 (0,082)	--	0,270 (0,051)	<b>0,549 ** (0,001)</b>
	li.	0,257 (0,063)	0,270 (0,051)	--	<b>0,563** (0,001)</b>
	ges.	0,213 (0,125)	<b>0,549** (0,001)</b>	<b>0,563** (0,001)</b>	--
Phonem-differenzierung		<b>0,344* (0,012)</b>	<b>0,295* (0,032)</b>	0,225 (0,106)	<b>0,339* (0,013)</b>
Phonem-identifizierung		<b>0,371** (0,006)</b>	<b>0,466** (0,001)</b>	<b>0,324* (0,018)</b>	<b>0,518** (0,001)</b>
Anz. Subtests		<b>0,581** (0,001)</b>	<b>0,662** (0,000)</b>	<b>0,631** (0,001)</b>	<b>0,748** (0,001)</b>

Tabelle 4.2.9.3 Die Korrelation aller Subtests des MAUS Test mit den Untertests „Phonemdifferenzierung“ und „-identifizierung“ sowie Anzahl der insgesamt bestandenen Untertests; 1.Wert=Korrelationskoeffizient nach Spearman, 2.Wert (in Klammern)=2-seitige Signifikanz, \*= $p \leq 0,05$ ; \*\*= $p \leq 0,01$

Korrelation Subtests MAUS		Phonem-differenzierung	Phonem-identifizierung	Anz. aller bestandenen Subtests
Silbenfolge		<b>0,344* (0,012)</b>	<b>0,371** (0,006)</b>	<b>0,581** (0,001)</b>
Störgeräusch	re.	<b>0,295* (0,032)</b>	<b>0,466** (0,001)</b>	<b>0,662** (0,001)</b>
	li.	0,225 (0,106)	<b>0,324* (0,018)</b>	<b>0,631** (0,001)</b>
	ges.	<b>0,339* (0,013)</b>	<b>0,518** (0,001)</b>	<b>0,748** (0,001)</b>
Phonemdifferenzierung		--	<b>0,732** (0,001)</b>	<b>0,701** (0,001)</b>
Phonemidentifizierung		<b>0,732** (0,001)</b>	--	<b>0,801** (0,001)</b>
Anz. Subtests		<b>0,701** (0,001)</b>	<b>0,801** (0,001)</b>	--

#### 4.2.10 Korrelation von Richtungshören und binauraler Fusion

Es erfolgte der Vergleich der Überprüfung des Richtungshörens und der Messung der binauralen Fusion hinsichtlich einer bestehenden Korrelation mittels dem Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman (s. Abschn. 3.3). Die beiden Untersuchungen wurden hierbei jeweils getrennt für die Gruppe der Kinder ohne AVWS und die Patientengruppe der Kinder mit AVWS betrachtet. In die Auswertung wurden nur die Patienten miteinbezogen, an denen beide Untersuchungen durchgeführt wurden. Insgesamt konnten die Daten von 20 Kindern ohne AVWS und 15 Kindern mit der Diagnose AVWS ausgewertet werden. Es wurde zunächst für jede Patientengruppe berechnet, ob sich die Komponenten der binauralen Fusion bei den Kindern mit einem durchschnittlichen bzw. guten Ergebnis im Richtungshören signifikant von den Kindern, die ein unzureichendes Ergebnis im Richtungshören erreichten, unterschieden.

##### Patientengruppe Kinder mit AVWS

Bei den Kindern mit AVWS fiel auf, dass zwischen der Latenz DN1 (Median) der binauralen Fusion in der Gruppe der Kinder mit gutem Ergebnis im Richtungshörtest (=AVWS-gutes RH) und der Latenz DN1 in der Gruppe der Kinder, die das Richtungshören mit einem unterdurchschnittlichen Ergebnis bewältigen (=AVWS-schlechtes RH) eine deutliche Differenz bestand. Erreichten die Kinder AVWS - gutes RH einen Wert in der DN1 von 5,92 ms (Standardabweichung 0,17 ms), so betrug der Median der DN1 bei den Kindern AVWS-schlechtes RH 6,27 ms (Standardabweichung 0,38 ms, s. Tab. 4.2.10.1). In der statistischen Untersuchung mittels Mann-Whitney-U-Test ließ sich ein signifikanter Unterschied der DN1 mit  $p \leq 0,01$  zwischen AVWS-Kindern mit gutem RH und schlechtem RH berechnen (s. Tab. 4.2.10.2).

Tabelle 4.2.10.1 Median der Latenz DN1 der binauralen Fusion von 15 Kindern mit AVWS, eingeteilt nach Richtungshören (8 Kinder - gutes Ergebnis, 7 Kinder – unterdurchschnittliches Ergebnis), in mSek

Kinder mit AVWS	<i>n</i>	Median DN1 (ms)	Standardabweichung (ms)
Richtungshören gut	8	5,92	0,17
Richtungshören schlecht	7	6,27	0,38



Tabelle 4.2.10.2 Statistische Auswertung der Latenz DN1 (binauralen Fusion) von 15 Kindern mit AVWS, 7 Kinder mit schlechtem, 8 Kinder mit gutem Richtungshören mittels Mann-Whitney-U-Test, (\* =  $p \leq 0,05$ , \*\* =  $p \leq 0,01$ )

Latenz DN1	Signifikanz P
Exakte Signifikanz (2-Seitig)	<b>0,009**</b>

Es wurde geprüft, ob zwischen dem Richtungshören und der binauralen Fusion eine Korrelation besteht. Hierzu wurde das Endergebnis des Richtungshörtests gegen die Latenzen der binauralen Differenzpotenziale aufgetragen. Für jede Parameterkombination wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman berechnet (s. Abschn. 3.3). Es zeigte sich, dass mit -0.659 eine mäßige Korrelation zwischen der Latenz DN1 der binauralen Fusion und dem Richtungshören mit einer Signifikanz von  $p \leq 0,01$  bestand (siehe Tab. 4.2.10.3). Die Korrelation zwischen den beiden Untersuchungen ist in Abb. 4.2.10.1 grafisch dargestellt.

Tabelle 4.2.10.3 Korrelation Richtungshören mit DN1 der binauralen Fusion bei 15 Kindern mit AVWS mittels Korrelation nach Spearman (\* =  $p \leq 0,05$ , \*\* =  $p \leq 0,01$ )

		Richtungshören	Lat DN1
Richtungshören	Spearman-Rho	1,000	-0,659
	Signifikanz p (2- seitig)		<b>0,007**</b>

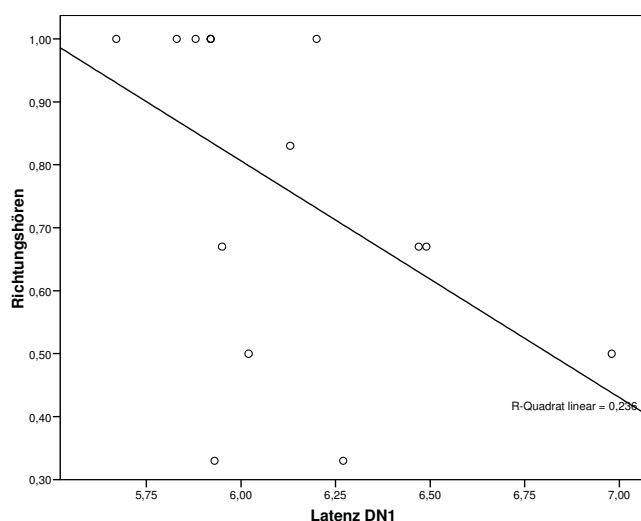


Abbildung 4.2.10.1 Rangkorrelation nach Spearman zwischen Richtungshören (1= alle Lokalisationen richtig gehört, 0= keine Lokalisation richtig gehört) und Latenz DN1 der binauralen Fusion; von 15 Kindern mit AVWS

### Patientengruppe Kinder ohne AVWS

Die Gruppe der Kinder ohne AVWS wurde, wie zuvor bei den Kindern mit AVWS, nach Ergebnis im Richtungshören eingeteilt. Anschließend wurden die Latenzen der binauralen Fusion zwischen beiden Gruppen verglichen. In der statistischen Auswertung mittels Mann-Whitney-U-Test (s. Abschn. 3.3) wies die Latenz DN1 keinen signifikanten Unterschied zwischen den Kindern mit gutem Richtungshören und den Kindern mit schlechtem Ergebnis im Test Richtungshören auf, ebenso die Latenzen DP1, DP2 und DN2 (s. Tab. 4.2.10.4).

Tabelle 4.2.10.4 Statistische Auswertung der Latenzen der bin. Fusion von 20 Kindern ohne AVWS, 5 mit schlechtem und 15 mit gutem Richtungsgehör mittels Mann-Whitney-U-Test, (\* =  $p \leq 0,05$ , \*\* =  $p \leq 0,01$ )

Signifikanz $p$	Lat DN1	Lat DN2	Lat DP1	Lat DP 2
Exakte Signifikanz (2-Seitig)	0,951	0,434	0,688	0,404

### **4.2.11 Zusammenfassung der statistischen Ergebnisse**

Zur Übersicht sind in der Tabelle 4.2.11.1 noch einmal alle Ergebnisse der Untersuchungsmethoden, die in dieser Arbeit ausgewertet wurden, kurz zusammengefasst.

Tabelle 4.2.11.1 Die analysierten Untersuchungsmethoden und ihre Signifikanz im Überblick

Untersuchung	Signifikanz $p$ zwischen gesund/AVWS	Spezieller Teil war signifikant?	Tabelle
<b>Binaurale Fusion</b>	Ja	Lat J 5 bin; Diff. Lat DN2- Lat J 5 bin	4.1.1.1; 4.1.1.3
<b>MMN</b>	Ja	Lat C4 Töne 2	4.1.2.1
<b>Richtungshören</b>	Nein		
<b>Hören im Störschall</b>	Ja	Gesamter Test	4.2.2.2
<b>PATSY</b>	Ja	Gesamter Test	4.2.3.2
<b>Dichotischer Hörtest</b>	Ja	Gesamter Test	4.2.4.2
<b>BLDT</b>	Ja	Gesamter Test	4.2.5.1
<b>Mottier Test</b>	Ja	Gesamter Test	4.2.6.1
<b>K-ABC</b>	Ja	Zahlen nachsprechen	4.2.7.1
<b>PET</b>	Ja	Wörter ergänzen	4.2.8.1
<b>MAUS Test</b>	Ja	Silbenfolge, Gesamter Test	4.2.9.1

### **4.3 Diskriminationsanalyse aller Testverfahren**

In einem weiteren Schritt wurde von allen Untersuchungsverfahren die Sensitivität, die Spezifität, der positive als auch der negative Vorhersage bestimmt. Die Ergebnisse sind in der Tab. 4.3.1 dargestellt.

In einem weiteren Schritt wurde die Performance bestimmt, wenn man statt den Diagnosekriterien „1 pathologischer objektiver und 1 pathologischer subjektiver Test“ stattdessen „mindestens zwei subjektive Tests pathologisch“ bzw. „mindestens drei“ oder „mindestens vier subjektive Tests pathologisch“ heranzieht (s. Tab 4.3.1).

Tabelle 4.3.1 Sensitivität, Spezifität, PPV und NPV aller ausgewerteten Untersuchungsmethoden sowie die Auswertung unterschiedlicher Diagnosekriterien, Angabe in Prozent, n= Anzahl der jeweils ausgewerteten Patienten

Untersuchungsmethode	n	Sensitivität	Spezifität	PPV	NPV
Binaurale Fusion	69	58	53	50	61
MMN Latenzen Töne1	65	39	77	53	65
MMN Latenzen Töne 2	18	33	75	40	70
MMN Latenzen Phoneme	65	39	67	77	62
Richtungshören	35	47	75	58	65
Hören im Störschall	57	63	70	60	72
PATSY	64	63	60	48	73
Dichotischer Hörtest	64	56	72	56	72
BLDT	57	67	64	57	72
Mottier-Test	64	86	64	65	85
K-ABC ZN	72	84	83	79	87
PET WE	56	79	72	68	82
MAUS	53	63	76	68	71
Mind. 2 subjektive Tests unterdurchschnittlich	/	94	53	59	92
Mind. 3 subjektive Tests unterdurchschnittlich	/	81	76	70	85
Mind. 4 subjektive Tests unterdurchschnittlich	/	59	87	76	75

## 5 Diskussion

### 5.1 Objektive Testmethoden

#### 5.1.1 Messung der binauralen Fusion

##### Vergleich der einzelnen Latenzen und Amplituden

Es wurden die einzelnen Komponenten des Differenzpotenzials verglichen. Hierbei zeigte sich allein für die Latenz des Potenzials J5 binaural ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Patientengruppen ( $p \leq 0,05$ , siehe Tab. 4.1.1.1). Die Latenz der DN1 wies keinen signifikanten Unterschied zwischen den Kindern ohne AVWS und Kindern mit AVWS auf. Der  $\beta$ -Peak erwies sich nicht als geeignet, um zwischen den Auswertungsgruppen zu unterscheiden. Diese Ergebnisse stehen im Gegensatz zum allgemeinen wissenschaftlichen Konsens, da der  $\beta$ -Peak ein hohes Potenzial aufweist, um hinsichtlich einer AVWS differenzieren zu können (Furst et al. 1990, Brantberg et al. 1999). Die Gründe für diese Ergebnisse sind bei genauerer Betrachtung jedoch vielfältig. Erste Schwierigkeiten ergeben sich bereits bei der Berechnung des Differenzpotenzials (Furst et al. 1990, Brantberg et al. 1999). Wie bereits in Abschnitt 2.3.7.4.1.1 beschrieben, gibt es keinen wissenschaftlichen Konsens über die Methode, mit der die binaurale Fusion berechnet wird und die einzelnen Komponenten identifiziert werden können (Hoth und Benz 2007). Es bleibt daher zu diskutieren, ob die in dieser Arbeit angewandte Berechnungsmethode die beste Form der Bildung des Differenzpotenzials darstellt und ob nicht andere Methoden zu Potenzialmustern geführt hätten, die eine deutlichere und exaktere Bestimmung der einzelnen Komponenten erlaubt hätten. Das bleibt weiteren Untersuchungen überlassen. In der Literatur finden sich Hinweise, dass die automatische, computergesteuerte Auswertung der binauralen Fusion bessere Ergebnisse hinsichtlich der Identifikation und Objektivität als die visuelle Auswertung erzielte (Arnold 1985). Strauss et al. fanden einen deutlichen Vorteil in der automatischen Auswertung des  $\beta$ -Peaks (Strauss et al. 2004). Ob die computergestützte Auswertung tatsächlich bessere Ergebnisse liefert als die manuelle Beurteilung, bleibt dennoch fraglich. Ein Kritikpunkt bezüglich der Messung und Auswertung ist ebenfalls die Tatsache, dass eine 2000-fache Mittelung der Werte noch stark störanfällig ist und sich Schwierigkeiten bei der Auswertung der Potenziale ergeben können. Eine weitaus höhere Anzahl von Mittelungen wäre notwendig, um beispielsweise den Signal-Rausch-Abstand zu verbessern. Die Identifikation des  $\beta$ -Peaks kann sich bei Kindern schwierig oder unmöglich gestalten, da bei der Berechnung der binauralen Fusion Potenziale voneinander subtrahiert werden, bei denen ein verhältnismäßig geringer Signal-Rausch-Abstand besteht (Delb 2007).

Die zu messenden Signale heben sich nicht immer stark von der Grundaktivität ab, so dass ihre Identifikation erschwert sein kann. Zusätzliche Filterfunktionen im Auswertungsprogramm, die eine klarere Trennung zwischen den zu messenden Signalen und Störgeräuschen ermöglichen würden, wären hilfreich –sind aber in dem zur Auswertung der binauralen Fusion verwendeten Programm von der Firma Pilot Blankenfelde nicht enthalten. Demzufolge bleibt als Verbesserung der Identifikation der binauralen Fusion lediglich die Erhöhung der verwendeten Mittelungen. Zusätzlich stören neurologische Aktivitäten der gemessenen Kinder und muskuläre Artefakte die Messung erheblich, besonders wenn nur Mittelungen von 2000 Werten vorgenommen werden. Weiterhin gehen in das binaurale Differenzpotenzial die Artefakte und Fehler beider monauralen Messungen und die Fehler der binauralen Messung mit ein. Auch in diesem Bereich würde eine höhere Mittelungszahl diese Fehler deutlich minimieren. Um stabilere Werte und aussagekräftigere Ergebnisse zu bekommen, wäre es daher in vielen Fällen dringend notwendig gewesen, die Mittelungszahl vom Defaultwert 2000 auf 4000 oder sogar 6000 zu erhöhen. In einigen wissenschaftlichen Untersuchungen waren zeitweise mehrere Tausend Mittelungen nötig, um einen geeigneten  $\beta$ -Peak identifizieren zu können (Ito et al. 1988). In dem verwendeten Mess- und Datenanalyseprogramm von Pilot Blankenfelde kann jedoch nur eine Messung mit einem Defaultwert von 2000 Mittelungen durchgeführt werden.

Die binaurale Fusion unterliegt einem deutlichen Alterseffekt. Es wird vermutet, dass ihre Entwicklung bis zum 12.-13. Lebensjahr fortschreitet und einem deutlichen Reifungsprozess unterliegt (Stollmann et al. 2004). Da in dieser Arbeit Patienten im Alter des Vierten bis zum 15. vollendeten Lebensjahr ausgewertet wurden (s. Abschnitt 3.1), müssen die gemessenen Werte mit Vorbehalt betrachtet werden. Auf die Bildung spezifischer Altersgruppen wurde auf Grund der zu kleinen Subgruppengröße verzichtet.

Weiterhin von Bedeutung ist, dass es nur bezüglich der Latenz J 5 bin einen signifikanten Unterschied zwischen Kindern ohne AVWS und Kindern mit AVWS gibt, die mit der Fähigkeit des Richtungshörens zusammenhängt. Das lässt vermuten, dass unauffällige Kinder eventuelle Schwächen beim Richtungshören kompensieren können.

Eine Fehlerquelle könnte auch in der Methode der Diagnostik der AWVS liegen. Zur Diagnosestellung der AVWS mussten in dieser Arbeit 2 Testergebnisse aus unterschiedlichen Bereichen pathologisch sein (s. Abschnitt 3.1). Wurden Kriterien zur Diagnosestellung herangezogen, die mehr die kognitive Seite bzw. die auditive Wahrnehmungsfähigkeit des Krankheitsbildes bewerteten (wie z.B. über die MMN), dann kann das Ergebnis AWVS

ja/nein durchaus im Widerspruch zum Ergebnis der Messung der binauralen Fusion stehen, da diese die Signale am Hirnstamm und somit die Funktion der auditiven Verarbeitung misst. Somit kristallisiert sich bereits ein weiteres Problem heraus: Die Diagnose einer AVWS kann sowohl auf einer Dysfunktion der Verarbeitung als auch auf der Wahrnehmung beruhen – die binaurale Fusion überprüft jedoch eben hauptsächlich die Verarbeitung. Eine klare Trennung einer hauptsächlich Verarbeitungsstörung von einer fehlerhaften Wahrnehmung und ihre Deklaration als unterschiedliche Erkrankungen wären somit in Zukunft zu überlegen.

Die Ergebnisse bezüglich der Aussagekraft des  $\beta$ -Peaks sind demzufolge mit dem Wissen der oben angeführten Probleme, die bei der Identifikation und Beurteilung des binauralen Interaktionspotenzials entstehen können, im Kontext mit den wissenschaftlichen Erkenntnissen kritisch zu bewerten.

### **Differenz der Latenz DN1 und Latenz J5 binaural**

Im nächsten Schritt wurde die Differenz von Potenzial J 5 binaural und der Latenz DN1 berechnet und verglichen. Es konnte zwischen den Patientenpopulationen kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden ( $p = 0,367$ , s. Tab. 4.1.1.1). In dieser Hinsicht wurden die Erwartungen, die auf Grund der bestehenden wissenschaftlichen Erkenntnisse an diese Messungen gestellt wurden, nicht erfüllt. Dieses kann eine Folge dessen sein, dass sich die bereits diskutierte Identifikation des  $\beta$ -Peaks zeitweise schwierig gestalten kann (Brantberg et al. 1999, Delb 2007). Unterschiedliche Reizpegel oder die Rate der angebotenen Stimuli üben zusätzlich einen Einfluss auf die binaurale Fusion aus (Brantberg et al. 1999, Hoth und Benz 2007). Die binauralen Interaktionspotenziale sind demzufolge bereits vielen Faktoren unterworfen, die die Identifikation und Reproduktion der verschiedenen Komponenten deutlich erschweren können.

### **Differenz der Latenz DN2 und Latenz J5 binaural**

Um alle Komponenten der binauralen Fusion in die Auswertung mit einzubeziehen, wurde die Differenz der Latenz J 5 binaural zur Latenz DN2 gebildet und analysiert. Hierbei ließ sich ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Patientengruppen feststellen ( $p \leq 0,01$ , s. Tab. 4.1.1.1). Dieses Ergebnis ist zunächst überraschend, da Kinder mit AVWS im binauralen Interaktionspotenzial Defizite in den Abschnitten mit kürzerer Latenz (z.B. Welle 5 oder Latenz DN1) haben sollten, die bei einem Vergleich mit Gesunden einen signifikanten

Unterschied aufweisen sollten (Brantberg et al. 1999, Delb 2003). Die in dieser Arbeit ausgewerteten Daten weisen allerdings erst in späteren Abschnitten der binauralen Fusion Auffälligkeiten nach. Diese Befunde können verschiedene Gründe haben. Es wäre denkbar, dass sich pathologische Prozesse zwar bereits auf Hirnstammebene befinden, sie sich bei diesen Patienten aber nicht am Entstehungsort der binauralen Fusion (=oberer Olivenkomplex), sondern erst im weiteren Verlauf zu höheren Zentren hin z.B. im Bereich des Corpus geniculatum mediale im Thalamusbereich nachweisen lassen. Auch muss bedacht werden, dass die binaurale Fusion in den zentraleren Anteilen der Hörbahn bereits verschiedenen Bewusstseinsprozessen unterliegen kann, die einen Einfluss auf die Verarbeitung der binauralen akustischen Signale ausüben könnten. Die Untersuchung späterer Latenzen würde demzufolge eine Beeinflussung der binauralen Interaktion durch höhere Bewusstseinsprozesse widerspiegeln, anstatt eine klare Aussage über die Entstehung der binauralen Fusion zu leisten.

Es gilt daher abschließend zu sagen, dass, obwohl z.B. der  $\beta$ -Peak nicht die diagnostische Aussagekraft vorwies, die mit dem Hintergrund der wissenschaftlichen Erkenntnisse gewünscht gewesen wäre, die binauralen Differenzpotenziale bei Kindern mit AVWS jedoch häufig in systematischer und diagnostisch verwertbarer Weise verändert sind (Delb et al. 2003). Diese Untersuchung, die über die Prüfung der Hirnstammfunktion die Kontrolle der Verarbeitung auditiver Signale ohne die Einbeziehung kognitiver Elemente ermöglicht, sollte aus diesen Gründen einen festen Platz in der Diagnostik der AVWS haben (Gopal und Kowalski 1999, Strauss et al. 2004, Delb 2003). Eine klare Leitlinie zur Berechnung der Potenziale muss in Zukunft festgelegt werden. Weitere Messungen sind notwendig, um das Differenzpotenzial besser beurteilen zu können und eine bessere Aussagekraft hinsichtlich der möglichen Differenzierung zwischen gesunden Kindern und Kindern mit AVWS zu leisten.

### **5.1.2 Messung der Mismatch Negativity**

In der statistischen Untersuchung ließ sich feststellen, dass Kinder mit AVWS häufig höhere Latenzen und niedrigere Amplituden der MMN aufwiesen als Kinder ohne AVWS (s. Abb. 4.1.2.1 und Abb. 4.1.2.2). Im Vergleich der Latenz C4-Töne 2 konnte ein signifikanter Unterschied mit  $p \leq 0,05$  zwischen beiden Patientengruppen nachgewiesen werden (s. Tab. 4.1.2.1). Diese Ergebnisse unterstützen den wissenschaftlichen Konsens, dass bei Kindern mit AVWS die Prozesse der Wahrnehmung auditiver Reize und ihre Diskrimination in höheren



Ebenen gestört sind und sich diese pathologischen Prozesse in veränderten ereigniskorrelierten Potenzialen niederschlagen können. Die verlängerten Latenzen können ein Ausdruck für diese pathologischen Prozesse sein. Auch in anderen Studien wiesen Kinder mit AVWS eine erhöhte Latenz für bestimmte Reize auf (Wenke und Kruse 2007). Weiterhin fiel in der Auswertung auf, dass der Unterschied der Latenzen zwischen den Patientengruppen in der Messung mittels der Töne 2 deutlicher ausfiel als in der Messung der Töne 1 (s. Abb. 4.1.2.1). So betrug die Differenz zwischen Kindern ohne AVWS und Kindern mit AVWS bei Töne 1-Latenz C4 4 ms, während diese in Töne 2-Latenz C4 bei 32 ms lag. In der Messung Töne 2 weisen die akustischen Stimuli ein deutlich größeres Tonintervall auf als in der Messung der Töne 1 (s. Abschnitt 3.2.2). Die verwendeten akustischen Signale bei Töne 2 verursachen eine stärkere Reaktion auf Grund des stärkeren Unterschiedes und demzufolge auch ein deutlicheres Differenzpotenzial, der Einfluss des Messfehlers wird reduziert. Bezüglich der Beurteilung der MMN bleibt zu bedenken, dass die Latenzen grob vereinfachte Messungen zur Evaluation der MMN darstellen, da sie lediglich über die maximale Negativität des Differenzpotenzials bestimmt wurden. Da sich die MMN jedoch nicht über einzelne Latenzen, sondern über ein negatives Gebiet der Differenzkurve definiert, wäre es zur Auswertung der MMN sicherlich von Vorteil gewesen, einen bestimmten Latenzbereich festzulegen und den Schwerpunkt dieses Latenzbereichs in die Auswertung einzubeziehen. Allerdings wird ein solches Herangehen durch das Programm Evoselect, das zur Auswertung der MMN verwendet wurde, nicht unterstützt. Auch eine Berechnung dieses Areal im offline-Modus kann nicht durchgeführt werden, da Evoselect die Daten nicht ausgibt. Ein weiterer Ansatz zur genaueren und objektiveren Auswertung der MMN ließe sich über die Berechnung der gesamten Fläche des negativen Gebietes in der Differenzkurve realisieren. Dieses würde wahrscheinlich eine stärkere Aussage bezüglich der MMN leisten, als die alleinige Auswertung der MMN über Latenzen. Bezüglich der in dieser Arbeit angewandten Ableitungsmethode der MMN bleibt zu diskutieren, ob diese die geeignete Methode war, um die Potenziale möglichst valide zu messen und die Messwerte objektiv beurteilen zu können. Weiterhin wurde die MMN in dieser Arbeit nur über 3. Elektroden gemessen. Eine Elektrodenableitung, die über den gesamten Kopf verteilt wäre, würde eventuell vielfältigere und akkuratere Informationen produzieren. Durch eine Verwendung mehrerer Messpunkte könnte ein Unterschied der Patientengruppen zueinander bezogen auf den jeweiligen Messpunkt genauer untersucht werden.

Obwohl die MMN schon häufig Thema wissenschaftlicher Forschung war, unterliegt ihre Generierung doch weiterhin verschiedenen Hypothesen, die bis dato diskutiert werden.

Garrido et al. vermuten, dass die MMN durch verschiedene Verbindungen in einer Hierarchie eines corticalen Netzwerkes generiert wird (Garrido et al. 2008). Alho postuliert, dass die Generierung der MMN vor allem dem auditorischen Kortex zugeordnet werden kann, wobei sich der exakte Ursprungsort je nach Komplexität des Stimulus oder unterschiedlichen Reizmerkmalen verändern kann (Alho 1995). Unklarheit herrscht weiterhin darüber, in welchem Hirnbereich unsere Sprache am ehesten wahrgenommen wird. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass die Wahrnehmung von Phonemen (und eventuell auch größeren linguistischen Stimuli wie z.B. Wörtern) auf einer sprachenspezifischen Phonemspur beruht, die im posterioren Anteil des auditiven Kortex der linken Hemisphäre entwickelt wurde. Diese Phonemspuren fungieren als „Wiedererkennungsmodelle“ für die tägliche Erkennung von Sprache (Näätänen 2000). Laut Kujala et al. hält dagegen die rechte Hemisphäre einen Anteil in unserer Spracherkennung inne (Kujala et al. 2002). Die Beurteilung der MMN wird zusätzlich dahin gehend erschwert, dass sich eine hohe Variabilität zwischen einzelnen Personen zeigte (Cheour et al. 1998). Die MMN weist Merkmale des Kurzzeitgedächtnisses auf (Alain et al. 1996) und kann über gezielte Aufmerksamkeitsprozesse moduliert werden (Woldorff et al. 1998). Es bleibt somit zu untersuchen, ob die MMN nicht nur bei Kindern mit AVWS, sondern auch bei Kindern mit Aufmerksamkeitsstörungen (z.B. ADHS) pathologisch verändert sein kann. Wäre dieses der Fall, so müssen die bisherigen Erkenntnisse zur Aussagekraft der MMN neu betrachtet werden, da demzufolge ein verändertes Potenzial nicht nur durch eine AVWS, sondern auch durch andere Krankheiten bedingt sein könnte. Es hat sich zusätzlich gezeigt, dass die Prozessierung der MMN auch durch speziellen visuellen Input, der zu den auditiven Stimuli synchronisiert wurde, beeinflusst werden kann (Rahne et al. 2007). Die Verarbeitung auditiver Informationen kann also durch visuelle Faktoren mit beeinflusst werden, wenn diese zeitlich genau in einen bestimmten Abschnitt der auditiven Verarbeitung fallen (Rahne et al. 2007).

Insgesamt lässt sich trotz dieser Diskussionspunkte festhalten, dass die MMN eine wissenschaftlich anerkannte Methode ist, um die pathologische Diskrimination objektiv messen und eine Aussage hinsichtlich einer bestehenden AVWS treffen zu können (Ptok et al. 2004 a, Nickisch et al. 2007). Die auditive Diskrimination, die durch die MMN überprüft wird beschränkt sich dabei nicht nur auf eine Qualität, sondern erlaubt die separate Auswertung für akustische Informationen wie z.B. Frequenz, Intensität und Dauer eines Stimulus (Näätänen und Escera 2000). Dementsprechend können in einer Untersuchung verschiedene Aspekte der auditiven Diskrimination überprüft werden.

## **5.2 Subjektive Testmethoden**

### **5.2.1 Richtungshören**

Im Vergleich der Ergebnisse des Richtungshörtests zwischen den Kindern mit AVWS und den Kindern ohne AVWS ließ sich kein signifikanter Unterschied feststellen (s. Tab 4.2.1.1). Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zum wissenschaftlichen Konsens, dass bei Kindern mit AVWS die Lokalisation von Schall- und Tonquellen häufig stark beeinträchtigt ist und sich dieses im signifikanten Unterschied zwischen den Patientengruppen niederschlagen müsste (Nickisch et al. 2007). Nach allgemeinen Erkenntnissen stellt die Überprüfung des Richtungshörens einen wichtigen Teil in der Diagnostik der AVWS dar (Nickisch et al. 2007). Sucht man nach Gründen, die die Ergebnisse beeinflusst haben könnten, so wird man schnell fündig. Leider ist die Durchführung des Richtungshörtests bisher nicht einheitlich standardisiert. Es werden in unterschiedlichen wissenschaftlichen Arbeiten verschiedene Messaufbauten verwendet, die sich zum Teil im räumlichen Aufbau deutlich unterscheiden (Hoth und Benz 2007). Verschiedene Versuchsmethoden können unterschiedlichste Anforderungen an das Richtungsgehör stellen und zu inhomogenen Endergebnissen führen, so dass die Ergebnisse zwischen verschiedenen wissenschaftlichen Arbeiten kaum zu vergleichen sind. Auch in dieser Arbeit bleibt der gewählte Messaufbau zu diskutieren. Die Wahl des Schallreizes kann zusätzlich Einfluss auf die Testergebnisse ausüben (Hoth und Benz 2007). Bei hohen Frequenzen ist besonders der interaurale Pegelunterschied relevant. Werden als Schallquelle niedrige Schallfrequenzen verwendet, so werden die Reize auf beiden Ohren mit annähernd gleicher Intensität wahrgenommen und die Lokalisation der Reize beruht eher auf interauralen Zeitunterschieden (Hoth und Benz 2007). Weiterhin erfolgte die statistische Untersuchung in dieser Arbeit mittels Mann-Whitney-U-Test. Fraglich bleibt, ob eine veränderte Auswertung, unterschiedliche Ergebnisse geliefert hätte. Diese Faktoren müssen bei der Auswertung des Richtungshörens und dem Vergleich verschiedenster Untersuchungen miteinander berücksichtigt werden. Es muss ebenfalls kritisch festgestellt werden, dass in der Erhebung der Messwerte der Untersucher mit im Raum stand und nicht wie z.B. bei Kiese-Himmel und Kruse von einem Nebenraum aus den Test durchführte (Kiese-Himmel und Kruse 2007). Es kann möglich sein, dass die Kinder durch den Untersucher eventuell abgelenkt waren und sich nicht vollständig auf die Untersuchung konzentrieren konnten.

Bezüglich der Auswertung der Ergebnisse des Richtungshörens muss beachtet werden, dass andere auditive Fähigkeiten mit dem Richtungshören korrelieren und sie einen Einfluss auf

das Richtungshören ausüben können. So ist die Fähigkeit, Schallquellen korrekt ihrem Herkunftsort zuzuordnen zu können, u. a. an die Verarbeitung von Lautstärkedifferenzen oder an die Auswertung von Laufzeitdifferenzen zwischen rechtem und linkem Ohr gebunden (Walger et al. 2003). Die unbeeinträchtigte binaurale Fusion ist daher eine Voraussetzung für das korrekte Richtungshören (Walger et al. 2003). Es konnte bereits ein Zusammenhang zwischen der binauralen Fusion bzw. den binauralen Differenzpotenzialen und der Lateralisation binaural präsentierter Reize aufgezeigt werden (Furst et al. 1985, Delb et al. 2004). Sind diese Prozesse der auditiven Verarbeitung gestört, können sich die Defizite in der Untersuchung des Richtungsgehörs widerspiegeln. Die Ergebnisse in der Messung des Richtungsgehörs sollten daher auch im Zusammenhang mit weiteren Tests gesehen werden, die z.B. die Zeitauflösung oder die Lautstärkedifferenzierung überprüfen (z.B. PATSY) oder auch Funktionen des Hirnstammes untersuchen (z.B. binaurale Fusion).

### **5.2.2 Hören im Störschall**

In der statistischen Untersuchung fand sich ein hochsignifikanter Unterschied zwischen den Kindern mit AVWS und den Kindern ohne AVWS (rechtes Ohr  $p \leq 0,01$ , linkes Ohr  $p \leq 0,01$ , siehe Tabelle 4.2.2.2). In den errechneten Mittelwerten (s. Tab 4.2.2.1) fiel auf, dass die Kinder mit AVWS mit 202,71 Punkten auf dem rechten Ohr einen Wert erhielten, der sich bereits im pathologischen Bereich befand. Weiterhin ist die Bewertung der Testergebnisse auch von der testdurchführenden Person mit abhängig. Wird beispielsweise bei einer bekannten Artikulationsstörung das leicht verändert ausgesprochene Wort nun als pathologisch gewertet, oder zählt es im Rahmen der bekannten Grunderkrankung noch als „normal“. Betrachtet man das in dieser Arbeit ausgewertete Patientenkollektiv, so wurde nur hinsichtlich der Fragestellung „AVWS“ und „keine AVWS“ differenziert. Liegen jedoch bei den Kindern ohne AVWS, die als Vergleichsgruppe herangezogen wurde, Erkrankungen wie z.B. eine Störung der Aufmerksamkeit vor, so sind diese Ergebnisse ebenfalls mit Vorbehalt zu betrachten. Kinder mit ADHS zeichnen sich durch eine vorwiegende Störung der Perzeption aus (Chermak et al. 1999). Über eine Ablenkung durch das Störgeräusch könnte es schnell zu pathologischen Ergebnissen in diesem Test und somit zu einer unklaren Aussage bezüglich der eigentlichen zu untersuchenden Erkrankung AVWS kommen.

Zu diskutieren bleibt ebenfalls die Frage, ob der verwendete Mainzer Kindersprachtest das am besten geeignete Material zur Überprüfung des Hörens im Störschall darstellte. Erfahrungen

in der Arbeit mit AVWS-Patienten haben gezeigt, dass vor allem kleinere Kinder schnell durch schwierigere Sprachtests wie z.B. den Göttinger Sprachtest überfordert sein können (Feldhusen et al. 2004). Fraglich bleibt daher, ob die Verwendung von anderem Testmaterial die in dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse deutlich beeinflusst und zu einer klareren Trennung zwischen Kindern ohne AVWS und Patienten mit AVWS geführt hätte.

Trotz all dieser Diskussionspunkte unterstützen diese Messergebnisse die allgemeine wissenschaftliche Ansicht, dass bei Kindern mit AVWS wichtige zentrale Prozesse des Hörens wie z.B. das Hören im Störschall pathologisch verändert sind und dass sich diese durch diese Untersuchungsmethode erfassen lassen (Chermak et al. 1998, Nickisch et al. 2007). Auch in anderen Studien zeigen Kinder mit AVWS deutliche Schwierigkeiten bei dieser Untersuchung (Ptok et al. 2004 b). Die Überprüfung des Hörens im Störschall ist daher ein häufiger Bestandteil in der Diagnostik einer AVWS (Feldhusen et al. 2004). Diese Erkenntnisse konnten auch durch die in dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse bestätigt werden. In Kombination mit dem H-LAD Subtest „Lautdifferenzierung“, und dem Mottier-Test erreicht das Sprachaudiogramm im Störgeräusch eine 100% Sensitivität, um eine bestehende AVWS zu diagnostizieren (Nickisch et al. 2004).

### **5.2.3 PATSY**

Im Vergleich der Patientengruppen fand sich ein signifikanter Unterschied in der Anzahl der bestandenen Untertests von  $p \leq 0,01$  (s. Tab. 4.2.3.2). Kinder ohne AVWS bestanden im Durchschnitt ca. 2,95 (Median 3) der 5 Untersuchungen, wohingegen Kinder mit AVWS mit einem Mittelwert von 1,92 bestandenen Untertests (Median 2) ein deutlich schlechteres Ergebnis erreichten (Abb. 4.2.3.1). Diese Ergebnisse bestätigen den allgemeinen wissenschaftlichen Konsens, dass bei Kindern mit AVWS auditive Verarbeitungsfähigkeiten wie z.B. die Lautstärke, Zeitordnung oder Seitenordnung pathologisch verändert sind (Leurpendeur et al. 2006, Balen et al. 2009). Der PATSY Test erweist sich als geeignet, um zwischen Kindern ohne AVWS und Kindern mit AVWS zu differenzieren, auch da er verschiedene Untersuchungsmethoden in sich vereint. Im Vergleich der einzelnen Untertests zueinander fiel auf, dass Kinder mit AVWS den Untertest „Tonlücke“ am schlechtesten absolvierten (s. Tab. 4.2.3.4 und 4.2.3.5). Fast 80 % der Kinder mit AVWS erlangten in diesem Untertest ein unzureichendes Ergebnis. In der Gruppe der Kinder ohne AVWS wurde dieser Untertest von 52,6 % nicht bestanden. Es scheint zunächst auffällig, dass auch die

Hälfte der Kinder ohne AVWS ein pathologisches Ergebnis in diesem Subtest erzielte. Die Überprüfung der Ordnungsschwelle ist jedoch kritischen Diskussionen unterworfen, da die Entwicklung der Zeitauflösungsfähigkeit über das Alter zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht ausreichend untersucht wurde und bisher noch kein einheitliches Vorgehen zur Messung der Ordnungsschwelle etabliert wurde (Kühn-Inacker und Weinmann 2000). Im Untertest „Seitenorientierung“ konnte die Hälfte aller Kinder mit AVWS den Test mit einem ausreichenden Ergebnis abschließen (s. Tab. 4.2.3.4). In der Gruppe der Kinder ohne AVWS wurde er jedoch ebenfalls nur von 52,6 % bestanden, so dass eine Unterscheidung der beiden Patientengruppen alleinig anhand dieses Testergebnisses schwierig erscheint (s. Tab. 4.2.3.5). Der Subtest „Tonhöhe“ wurde von den meisten Kindern ohne AVWS (86,8 %) bestanden, wohingegen nur 45,9 % der Kinder mit AVWS ein ausreichendes Ergebnis erreichten. In der statistischen Betrachtung der Untertests konnte kein Subtest identifiziert werden, der einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Patientengruppen aufweist und so effizient anhand eines Merkmals zwischen beiden Patientengruppen unterscheidet. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Bei einer AVWS können verschiedene Bereiche der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung gestört sein (s. Tab 4.2.3.4. und 4.2.3.5). Die Tabellen zeigen auf, wie inhomogen die Leistungen der Kinder in den verschiedenen Bereichen sein können. So finden sich in der Patientengruppe mit AVWS nicht immer die gleichen Subtests, die mit einer ungenügenden Leistung bewältigt wurden. Diese Ergebnisse sprechen für die Vermutung, dass nicht immer gleiche spezifische Bereiche bei allen Patienten betroffen sein müssen, sondern dass individuell bei jedem Kind verschiedene Prozesse der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung gestört sein können. Einzig im PATSY-Gesamtergebnis unterscheiden sich die Kinder mit AVWS und die Kinder ohne AVWS signifikant. Da in dieser Arbeit die Diagnosestellung einer AVWS wie bereits beschrieben auf zwei pathologischen Ergebnissen aus unterschiedlichen Diagnosebereichen beruht, ist es schwierig, diese verschiedensten Störungen unter dem großen Sammelbegriff AVWS vereinen zu wollen. Durch die Vereinigung dieser verschiedensten Störungen unter einem Oberbegriff kann so das komplexe Symptombild einer AVWS entstehen. Möchte man den PATSY zur Diagnosestellung einer AVWS zu Rate ziehen, empfiehlt es sich demzufolge, den PATSY im gesamten Testergebnis zu betrachten und ihn nicht auf einzelne Untertests reduzieren zu wollen. In anderen Arbeiten erzielte der PATSY zwar nur bei einem Teil der Kinder mit AVWS ein auffälliges Ergebnis (Nickisch und Massinger 2005), er eignet sich jedoch durch die Überprüfung grundlegender auditorischer Fähigkeiten grundsätzlich für die Diagnostik der AVWS (Ptok et al. 2000, Nickisch et al. 2007).

#### **5.2.4 Dichotischer Hörtest nach Uttenweiler**

Nach der Testdurchführung wurden die erreichten Ergebnisse statistisch analysiert. Im Vergleich der Mittelwerte fiel auf, dass die Kinder mit AVWS mit 49,44 % ein im Mittel deutlich unterdurchschnittliches Ergebnis aufwiesen (s. Tab. 4.2.4.1). Kinder ohne AVWS lagen mit einem Mittelwert von 73,47 % im Normbereich. Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen beiden Populationen ( $p \leq 0,05$ , s. Tab. 4.2.4.2). Dieses Ergebnis stützt die wissenschaftliche Meinung, dass der dichotische Hörtest geeignet ist, um zwischen Kindern mit und ohne AVWS zu differenzieren und einen festen Platz in der Diagnostik der AVWS innehaben sollte (Berger und Demirakca 2000, Baschek et al. 2003, Maddalena et al. 2004).

Im Vergleich mit den Ergebnissen des PATSY fällt auf, dass die Trennschärfe zwischen Kindern mit und ohne AVWS im dichotischen Hörtest nach Uttenweiler etwas schlechter ausfällt (s. Tab 4.2.3.1). Dieses Ergebnis lässt sich unter anderem dadurch erklären, dass im dichotischen Hörtest nicht nur grundlegende auditive Funktionen, sondern bereits höhere auditive Funktionen wie z.B. die allgemeine Kognition, aber auch linguistische Fähigkeiten mit abgeprüft werden. Der dichotische Hörtest stellt neben der Überprüfung der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung somit einen höheren Anspruch an diese beschriebenen Faktoren, als dieses bei der Überprüfung auditiver Basisfähigkeiten der Fall wäre.

Aus Studien bekannt ist weiterhin, dass die dichotische Wortdiskrimination einer signifikanten Altersabhängigkeit unterliegt (Kiese-Himmel und Kruse 2006). Eventuell ist diese Altersabhängigkeit ein Grund dafür, dass kein hochsignifikanter Unterschied zwischen den Patientengruppen besteht. Da die ausgewerteten Patienten als deutlich inhomogenes Kollektiv eine große Altersspanne aufweisen (s. Abschn. 3.1), würde sich im Hinblick auf die Altersabhängigkeit die unterschiedliche Fähigkeit der dichotischen Sprachdiskrimination in einer größeren Fehlerspannweite der Testergebnisse niederschlagen. Die Testergebnisse müssten eventuell separat für die einzelnen Altersgruppen interpretiert werden. Andernfalls würde gerade in den jüngeren Altersgruppen eine zu hohe Zahl an normal entwickelten Kindern im auffälligen Bereich liegen (Neuschaefer-Rube et al. 2000). In dieser Arbeit wurde der Uttenweiler Test verwendet, um das dichotische Hörvermögen der Kinder zu untersuchen. Laut Maddalena et al. weist in einer Gruppe der 8- bis 10-jährigen allerdings der dichotische Hörtest nach Feldmann eine größere Trennschärfe zwischen gesunden Kindern und Kindern mit AVWS auf (Maddalena et al. 2001). Da ein großer Teil der Patienten, die in diese Untersuchung mit einbezogen wurden, sich zum Zeitpunkt der Erhebung der Messdaten in



diesem Alterszeitraum vom 8. bis zum 10. vollendeten Lebensjahr befand (40,6 % der Kinder mit AVWS, 51 % der Kinder ohne AVWS), bleibt zu diskutieren, ob man eventuell mit dem dichotischen Hörtest nach Feldmann eine deutlichere Trennung zwischen beiden Patientenpopulationen hätte erwarten können. Da man keinen Vergleich zum dichotischen Hörtest nach Feldmann ziehen kann, lässt sich lediglich feststellen, dass auch in einer sehr breiten Altersgruppe (in dieser Untersuchung vom 4. bis 15. Lebensjahr) der dichotische Hörtest nach Uttenweiler geeignet ist, um zwischen Kindern ohne AVWS und Kindern mit AVWS zu differenzieren. Ein kritischer Diskussionspunkt bleibt die andauernde Frage, ab wann ein Ergebnis als pathologisch einzustufen ist. Teilweise werden bereits Ergebnisse unter 80% (Neuschaefer-Rube et al. 2000, Feldhusen et al. 2004) bzw. unter 70 % (Esser und Wurm-Dinse 1993) als auffällig gewertet. Somit würden aber nunmehr bis zu 80 % im pathologischen Bereich liegen (Feldhusen et al. 2004).

Trotz allem erweist sich die Überprüfung des dichotischen Hörens als geeignet, um zwischen Kindern ohne AVWS und Patienten mit AVWS zu differenzieren. Nach Wohlleben und Gross kann der dichotische Hörtest in Kombination mit dem H-LAD Untertest „Diskrimination und Gedächtnis“ und der Untersuchung zeitkomprimierter Wörter links eine 87%-Trennung zwischen auditiv gestörten und unauffälligen Kindern leisten (Wohlleben und Gross 2004).

### **5.2.5 Lautdiskriminationstest**

In der statistischen Untersuchung des BLDT konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Kindern ohne AVWS und den Patienten mit AVWS festgestellt werden (s. Tab. 4.2.5.1). Kinder mit AVWS erreichten deutlich schlechtere Ergebnisse als Kinder ohne AVWS (s. Abb. 4.2.5.1). Der BLDT ist demzufolge ein geeigneter Test, um eine Unterscheidung zwischen Kindern ohne AVWS und Kindern mit AVWS treffen zu können. Es fand sich zwischen den Patientengruppen kein hochsignifikanter Unterschied, wie es eigentlich zu erwarten gewesen wäre. Diese Tatsache könnte durch mehrere Faktoren und Einflüsse bedingt sein. Es muss zunächst beachtet werden, dass der BLDT nicht nur isoliert die Lautdiskrimination überprüft, sondern Faktoren wie z.B. die Motivation einen bedeutenden Einfluss auf die Testergebnisse ausüben können (Ptok et al. 2006 b). Auch kognitiv-linguistische Fähigkeiten werden durch den BLDT mit überprüft (Ptok et al. 2006 b). Liegen Schwächen der Differenzierung und Diskrimination vor, so kann dieses schnell zu falsch-negativen Resultaten führen. Zu Beginn der AVWS-Diagnostik sollte demzufolge



berücksichtigt werden, ob entsprechende Störungsbilder wie z.B. Defizite der Sprachentwicklung, eine Lese-Rechtschreib-Schwäche oder ein Dysgrammatismus vorliegen. Da diese Erkrankungen in der Gruppe der Kinder ohne AVWS bei einem Teil der Patienten eventuell bestanden haben könnten, können diese das Untersuchungsergebnis mit beeinflusst haben. Weitere Untersuchungen an einer Vergleichspopulation sind notwendig, in der keine LRS oder ein Dysgrammatismus vorliegt. Zusätzlich ist bislang unklar, inwieweit die Fähigkeit der Lautdiskrimination in den verschiedenen Altersstufen stabil ausgebildet ist. Ptok et al. postulieren, dass die Lautdiskrimination im Vorschulalter nur wenigen Schwankungen unterliegt und als relativ stabil anzusehen ist (Ptok et al. 2006 a). Allerdings wurde die Lautdiskrimination hier nur bei unauffälligen Kindern untersucht. Eine Abhängigkeit der Unterscheidung von Minimalpaaren je nach Geschlecht konnte nicht nachgewiesen werden (Ptok et al. 2005 b). Ebenso ergibt sich die Frage, welche Untersuchungsmethode die am Besten geeignete ist, die Lautdiskrimination zu überprüfen. Es gibt verschiedene Tests, die verwendet werden können, um die Differenzierung von Lauten zu überprüfen, jedoch unterscheiden sich die verschiedenen Untersuchungsmethoden deutlich bezüglich ihrer Gütekriterien (Ptok et al. 2006 b). Besonders der Heidelberger Lautdifferenzierungstest (=H-LAD) erfährt verstärkte Anwendung in der AVWS-Diagnostik (Brunner et al. 1998). Die Subtests „Kinästethik/ Identifikation“ und „Lautanalyse“ des H-LAD besitzen eine hohe Trennschärfe bei der Diagnostik einer AVWS und die klinische Wertigkeit dieser Untersuchungsmethode wird als hoch eingeschätzt (Wohlleben et al. 2003). In Kombination der H-LAD-Subtests mit dem Mottier Test und dem Sprachaudiogramm im Störschall erlangt man in der Diagnostik der AVWS eine bis zu 100%-ige Sensitivität (Nickisch et al. 2004). Daher bleibt zu diskutieren, ob eventuell eine Untersuchung mittels H-LAD eine deutlichere Differenzierung zwischen AVWS-Patienten und Kindern ohne AVWS ermöglicht hätte, als dieses mit dem BLDT der Fall gewesen ist. Laut Wohlleben und Gross ermöglicht die Kombination des H-LAD mit dem dichotischen Hörtest und der Untersuchung mit redundanzverminderten Sprachsignalen eine bis zu 87%-ige Trennung zwischen auditiv gestörten und unauffälligen Kindern (Wohlleben und Gross 2004).

### **5.2.6 Mottier-Test**

Bei dem Vergleich der Patientengruppen fand sich ein hochsignifikanter Unterschied zwischen den Kindern mit AVWS und den Kindern ohne AVWS (s. Tab. 4.2.6.1). Während ein Großteil der Kinder ohne AVWS im Mottier-Test ein Ergebnis im Normbereich erreichte,

fielen über 85% der AVWS-Patienten durch ein unterdurchschnittliches Ergebnis auf (s. Abb. 4.2.6.1). Auch in anderen Untersuchungen trennte der Mottier-Test signifikant zwischen Kontrollgruppe und Patienten (Neuschäfer-Rube et al. 2000, Wohlleben et al. 2007). Zu beachten bleibt jedoch, dass die relative Schwierigkeit dieser Untersuchungsmethode mit dem Alter der Patienten geringer wird (Risse und Kiese-Himmel 2009). Gerade ältere Kinder könnten trotz bestehender Defizite in der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung in dieser Untersuchung möglicherweise normale Testergebnisse erreichen. Weitere Probleme ergeben sich bezüglich der Durchführung der Untersuchung, da unterschiedliche Meinungen darüber herrschen, mit welcher Sprechgeschwindigkeit die Sinnlos-Silben angeboten werden sollen. Die Angaben variieren von einer Sekunde pro Silbe (Rosenkötter 2003) bis 0,5 Sekunden pro Silbe (Seibert et al. 2001). In dieser Arbeit wurden die Sinnlossilben durch die Versuchsleiterin langsam vorgesprochen, so dass keine standardisierte einheitliche Geschwindigkeit vorlag. Die Untersuchungsbedingungen sollten daher standardisiert werden, um Messergebnisse aussagekräftiger vergleichen zu können. Ein zusätzlicher Kritikpunkt ist die Tatsache, dass verschiedene Referenzwerte hinsichtlich der Beurteilung der Testleistungen auf Rohwertbasis bestehen (Risse und Kiese-Himmel 2009). So sind allein im Jahr 1981 unterschiedliche Referenzwerte z.B. von Welte, Bohny oder auch von Grisseman bestimmt worden (Bohny 1981, Grisseman 1981, Welte 1981). Es sollte ein einheitlicher Konsens bezüglich der Referenzwerte verfasst werden, um eine vergleichbare Einordnung zu den Bereichen „unterdurchschnittlich“ und „normal“ zu ermöglichen.

Insgesamt ist der Mottier-Test eine ökonomische und nützliche Methode, um das auditive Kurzzeitgedächtnis und die Lautdifferenzierung zu untersuchen und zwischen „AVWS-Patienten“ und „Nicht-AVWS-Patienten“ zu differenzieren (Renner et al. 2008, Risse und Kiese-Himmel 2009). Diese Aussage kann durch die in dieser Arbeit erlangten Befunde eindeutig bestätigt werden. Lautdifferenzierung“ eine 100%-ige Sensitivität für die Diagnose AVWS auf (Nickisch et al. 2004).

### **5.2.7 K-ABC Zahlen nachsprechen**

Konsensfähig ist, dass sich bei Kindern mit AVWS häufig Störungen im auditiven Kurzzeitgedächtnis finden (Burre 2006, Kiese-Himmel 2007). In dieser statistischen Untersuchung konnte ein signifikanter Leistungsunterschied zwischen Kindern mit AVWS und Kindern ohne AVWS festgestellt werden (s. Abb. 4.2.7.1 und Tab. 4.2.7.1). Kinder ohne

AVWS erreichten mit 72 % zum Großteil ein normales Ergebnis, während 79% der AVWS-Patienten unterdurchschnittliche Ergebnisse erlangten (s. Abschnitt 4.2.7). Diese Erkenntnisse konnten bereits in anderen Studien gewonnen werden und stimmen mit den in dieser Arbeit gewonnenen Ergebnissen überein (Ptok et al. 2004 b, Kiese-Himmel 2007, Kiese-Himmel und Reeh 2009). Basierend auf diesen Befunden kann erklärt werden, dass die Überprüfung der auditiven Merkfähigkeit mittels dieses Subtests einen wichtigen Stellenwert in der Diagnostik der AVWS einnimmt und einen festen Platz in der Basisdiagnostik innehaben sollte (ASHA 2005, Leurpendeur et al. 2006, Nickisch et al. 2007). Wichtig bleibt zu bedenken, dass Schulkinder in diesem Test eine bessere Leistung zeigen können als Nicht-Schulkinder (Kiese-Himmel 2007). Da dieses Patientenkollektiv eine deutliche Altersspanne aufwies, könnten sich zwischen den Altersgruppen nochmals starke Unterschiede zeigen. Weitere Untersuchungen sind hierzu notwendig. Auch der Zeitpunkt der Testung spielt eine Rolle – haben die Kinder schon einige Tests durchlaufen, kann es durch eine Übermüdung und abnehmende Konzentration der Kinder häufig zu falsch pathologischen Ergebnissen kommen (s. Abschnitt 2.3.7.1). Hier könnten auch die eventuell in der Vergleichsgruppe bestehenden weiteren Erkrankungen eine Rolle spielen (wie z.B. ein ADHS). Ebenso muss bedacht werden, dass auch visuelle Stimuli einen Einfluss auf den primären auditorischen Kortex ausüben und so die auditive Merkfähigkeit eventuell beeinträchtigen könnten (Sams et al. 1991). Sind nun die untersuchten Kinder beispielsweise durch die Versuchsleiterin im Raum oder durch andere Geschehnisse abgelenkt worden, könnte dies zu einer Verschlechterung der Testergebnisse geführt haben. Daher schlagen Kiese-Himmel und Reeh vor, auf Grund der möglichen multidimensionalen Ursache einer AVWS und den verschiedenen Komorbiditäten auch alternative Wahrnehmungsmodalitäten wie z.B. die visuelle Gedächtnisspanne zu überprüfen (Kiese-Himmel und Reeh 2009).

In dem K-ABC Subtest müssen die Kinder nicht nur die auditive Merkfähigkeit aufweisen, sondern sie müssen Zahlen in ihrem Wortlaut kennen und auch korrekt aneinandergereiht wieder geben können. Eine kognitive Komponente wird ebenso wie die linguistische Fähigkeit, die Zahlen korrekt aussprechen zu können, indirekt mit überprüft. Diese scheint allerdings geringer als beispielsweise beim dichotischen Hörtest, bei dem zwei mehrsilbige Substantive gleichzeitig korrekt reproduziert werden müssen. Möchte man die kognitiven Beiträge so gering wie möglich halten, wäre eine Untersuchungsmethode angebracht, die ohne sprachliche Kenntnisse der Kinder die auditive Merkfähigkeit überprüft. Diese Bedingungen erfüllt beispielsweise der Mottier-Test. In dieser Auswertung hat sowohl der Mottier-Test als auch der K-ABC Subtest Zahlen nachsprechen einen hochsignifikanten

Unterschied zwischen den Kindern ohne AVWS und Kindern mit AVWS aufgewiesen. Weitere Untersuchungen, ob alleinig der Mottier-Test zur Überprüfung der auditiven Merkfähigkeit bei Kindern mit AVWS ausreichen würde, sind in Zukunft notwendig.

### **5.2.8 PET Wörter ergänzen**

Es“ fand sich im PET „Wörter ergänzen“ ein hoch signifikanter Unterschied zwischen den Kindern ohne AVWS und Kindern mit AVWS (s. Tab. 4.2.8.1). Kinder mit AVWS konnten die sinngemäße Ergänzung fehlender auditiver Informationen nur schlecht oder gar nicht bewältigen. Diese Ergebnisse unterstützen den allgemeinen wissenschaftlichen Konsens, dass bei Kindern mit AVWS dieser Test häufig pathologisch ausfällt (Leurpendeur et al. 2006), auch wenn in dieser Untersuchung mit 56 Patienten lediglich eine geringe Fallzahl vorlag. Weiterhin überprüft dieser Subtest die auditive Merkfähigkeit im Ultrakurzzeitbereich. Diese Fähigkeit ist bei AVWS häufig gestört, wie in Abschn. 2.3.7.4.2.7 bereits beschrieben (Burre 2006, Kiese-Himmel 2007). Allerdings müssen bei diesem Test die Worte bereits den Kindern im Wortschatz korrekt bekannt sein, damit sie die Wörter richtig ergänzen können. Ebenfalls ist diese Fähigkeit von der semantischen Kompetenz des Kindes abhängig (Wohlleben et al. 2007). Eine korrekte Vervollständigung der Begriffe kann folglich nur erfolgen, wenn man sowohl sprachlich als auch kognitiv dazu in der Lage ist. Die kognitive Komponente, die miterfasst wird, scheint somit höher als z.B. bei der Verwendung von Sinnlossilben im Mottier-Test. Weiterhin ist diese Untersuchung bei einem bestehenden Sprachfehler, in denen bestimmte Konsonanten nicht korrekt artikuliert werden können, schwer auszuwerten. Da ein Sprachfehler vor der Diagnostik im Patientenkollektiv nicht ausgeschlossen wurde, kann so eine Diffamierung der Ergebnisse stattgefunden haben.

### **5.2.9 MAUS Test**

In der statistischen Untersuchung ließ sich ein signifikanter Unterschied in der Gesamtanzahl der durchschnittlich oder besser absolvierten MAUS Subtests zwischen Kindern ohne AVWS und Kindern mit AVWS feststellen (s. Tab. 4.2.9.1). Dieses Ergebnis liegt im Einklang mit dem allgemeinen Konsens, dass Kinder mit AVWS häufiger unterdurchschnittliche Ergebnisse im MAUS Test erreichen als gesunde Kinder (Nickisch et al. 2006). Überraschend

war, dass der Subtest „Silbenfolge“ als einziger Untertest einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Patientengruppen aufwies (s. Tab. 4.2.9.1). Dieses ist eher verwunderlich, da auch die anderen Subtests zwischen beiden Patientenpopulationen differenzieren müssten (Leurpendeur et al. 2006, Nickisch et al. 2006). Der Untertest „Silbenfolge“ lehnt sich, wie im Abschn. 2.3.7.4.2.9 beschrieben, stark am Mottier Test an und überprüft über Sinnlossilben die auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsfunktionen (Brunner et al. 1998). Er versucht, ohne die sprachlichen Fähigkeiten der Kinder auszukommen, um eine Ergebnisverfälschung durch fehlende Wortkenntnisse des Kindes zu minimieren. Eventuell ist diese Eigenschaft der Grund dafür, dass er als einziger Subtest einen signifikanten Unterschied zwischen den Patientengruppen aufwies.

In einem weiteren Schritt wurden die Zusammenhänge der Subtests zueinander untersucht. Laut Nickisch et al. weisen alle Untertests deutliche Korrelationen untereinander auf (Nickisch et al. 2006). Diese Aussage in dieser Arbeit bestätigt werden (s. Tab. 4.2.9.2 und 4.2.9.3). Die Gesamtanzahl der bestandenen Subtests korrelierte mit jedem Subtest auf signifikantem Niveau, so dass die Frage aufkommt, ob wirklich alle Subtests zur Diagnostik benötigt werden. Da lediglich die Silbentrennung und das Gesamtergebnis des MAUS Tests einen signifikanten Unterschied zwischen den Patientengruppen aufwiesen, wäre zu überlegen, ob eine Reduktion der Tests alleinig auf den Subtest Silbenfolge sinnvoll wäre. Somit könnte eine übermäßige psychologische Diagnostik vermieden werden. In diesem Fall wären weiterhin Untersuchungen notwendig, um zu ermitteln, ob die Silbenfolge des MAUS Tests ausreichen würde, um valide zwischen Kindern mit AVWS und gesunden Kindern zu differenzieren.

Abschließend lässt sich sagen, dass der MAUS Test im Test-Endergebnis eine Trennung zwischen Kindern ohne AVWS und Kindern mit AVWS leistet. Um jedoch eine klare und stärkere Unterscheidung dieser beiden Patientengruppen ermöglichen zu können, müssten auch die einzelnen Untertests einen signifikanten Unterschied aufweisen. Weiterhin muss das Ergebnis des MAUS Tests in seiner Gesamtanzahl der bestandenen Untertests beurteilt werden, da die Auswertung anhand eines einzelnen Teils bis auf die Silbenfolge nicht ausreicht. Es kann die allgemeine Aussage unterstützt werden, dass der MAUS Test eine grobe Richtung bezüglich einer auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung vorgibt, eine AVWS jedoch nicht allein auf diesen Testergebnissen diagnostiziert werden kann (Nickisch et al. 2006). Der Einsatz als Screeninginstrument bleibt daher fraglich.

### **5.3 Korrelation von Richtungshören und binauraler Fusion**

Die für das Richtungshören nötige Fähigkeit der Lokalisation von Schallquellen wird über die Verwertung von interauralen Intensitäts- und Zeitunterschieden im Bereich des oberen Olivenkomplexes ermöglicht (Moore 2000). Eine der wichtigen Voraussetzungen für das Richtungshören oder auch die Erkennung von Sprache in Störgeräuschen ist die binaurale Fusion (Walger et al. 2003). Auch die binaurale Fusion ist ein Prozess, der dem Hirnstammbereich der oberen Olivenkerne zugeordnet werden kann (Moore 1991). Defizite in diesem Bereich müssten sich demzufolge in beiden Untersuchungen widerspiegeln. Hoth und Benz fanden keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen den BDP und dem Richtungshören, es wurden von ihnen jedoch nur Kinder untersucht, die ein normales Hörvermögen und keine Auffälligkeiten hinsichtlich der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung aufwiesen (Hoth und Benz 2007). Die in dieser Arbeit erhaltenen Daten sprechen dafür, dass sich bei Kindern mit AVWS eine Schädigung der Verarbeitung auf Höhe des Hirnstammbereiches auch in den Untersuchungen des Richtungshörens und der binauralen Fusion ausdrücken kann. Verwunderlich ist die Tatsache, dass bei Kindern ohne AVWS nur die Komponenten DP2 und DP2 einen signifikanten Unterschied aufwiesen, jedoch nicht die DN1 (wie bei den Kindern mit AVWS; s. Tab. 4.2.10.2 und 4.2.10.4). Eine mögliche Erklärung wäre, dass Kinder ohne AVWS in der binauralen Fusion z.B. Unregelmäßigkeiten am Ort der Generierung der DN1 aufzeigen, somit die ersten Bereiche der auditiven Verarbeitung überspielen könnten und erst im weiteren Verlauf pathologische Prozesse im Bereich der Wahrnehmung aufweisen. Die Kinder könnten demzufolge Auffälligkeiten in den ersten Bereichen der binauralen Fusion erfolgreich kompensieren. Kinder mit AVWS wären jedoch nicht weiter in der Lage, diese frühen Defizite durch weiter kortikal gelegene Zentren auszugleichen. Es fiel bei der Auswertung der binauralen Fusion als einzelne Untersuchung auf, dass die DN1 bzw. der  $\beta$ -Peak nicht geeignet war, um zwischen Kindern ohne AVWS und Kindern mit AVWS zu differenzieren. Die Gründe hierfür werden ausführlich in Abschnitt 5.1.1 diskutiert und könnten auch im Vergleich mit dem Richtungshören einen enormen Einfluss ausgeübt haben. Weiterhin muss bedacht werden, dass die ausgewertete Population sehr klein ist ( $n= 15$  bzw.  $20$ ) und demzufolge nur eine eingeschränkte Aussagekraft besitzt. Diese Ergebnisse sollten daher durch weitere Untersuchungen in der Zukunft unterlegt werden.

## **5.4 Diskriminationsanalyse aller Testverfahren**

In der Diskriminationsanalyse aller Untersuchungsmethoden zeichnete sich der Mottier-Test als die Untersuchungsmethode mit der höchsten Sensitivität aus (Sensitivität: 86%, Spezifität: 64%, PPV 65%, NPV 85%), gefolgt vom Untertest Zahlennachsprechen des K-ABC (Sensitivität: 84%, Spezifität: 83%, PPV 79%, NPV 87%; s. Tab. 4.3.1). Dieser wies ebenso mit einer hohen Sensitivität die beste Performance auf.

Der Mottier-Test könnte durch die hohe Sensitivität somit als Ausschlusstest fungieren – liegt ein unauffälliges Testergebnis vor, ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Kind an AVWS erkrankt ist, gering. Der K-ABC Test ZN hingegen könnte als Bestätigungstest fungieren – ist das Ergebnis unterdurchschnittlich hat das Kind mit einer hohen Wahrscheinlichkeit AVWS.

Die objektiven Untersuchungsmethoden wiesen eine deutlich schlechtere Sensitivität als die subjektiven Tests auf. Die Messung der MMN mittels Töne 2 erzielte die schlechteste Sensitivität aller Untersuchungsmethoden, jedoch bei einer hohen Spezifität (Sensitivität: 33%, Spezifität: 75%, PPV 40%, NPV 70%). Auch die MMN Töne 1 zeigte eine Spezifität von 77%. Eine Bestätigung der Diagnose „AVWS“ wäre durch ein pathologisches Ergebnis der MMN folglich durchaus möglich. Die Sensitivität der binauralen Fusion betrug hinsichtlich der Frage AVWS 58%, die Spezifität 53%. Damit sind die Gütekriterien deutlich niedriger als in anderen wissenschaftlichen Untersuchungen (Gunnarson und Finitzo 1991, Delb 2003). Die Gründe für diese Ergebnisse liegen in den bereits diskutierten Punkten. Da der  $\beta$ -Peak keinen klaren Unterschied zwischen den Patientengruppen leistete, kann sich dieses in den Gütekriterien widerspiegeln. Die Ergebnisse sind somit unter Vorbehalt zu bewerten. Zu beachten gilt bei der Berechnung der Sensitivität und Spezifität, dass die Summe aller Zeilen mindestens fünf betragen muss.

Die Überprüfung des Richtungshörens wies lediglich eine Sensitivität von 47% und eine Spezifität von 75% auf, sie wurde jedoch an nur 35 Kindern vorgenommen. Bei dieser geringen Patientenzahl ist es nicht möglich, die Werte auf eine allgemeine und größere Population zu übertragen. Der dichotische Hörtest nach Uttenweiler wies eine Sensitivität von 56% und Spezifität von 72% auf. Wohlleben et al. berechnete eine deutlich niedrigere Spezifität von  $<0,4$  (Wohlleben et al. 2003). Da die Berechnungen in dieser Arbeit jedoch auch nur auf geringen Fallzahlen beruhen, sind weitere Untersuchungen hierzu dringend notwendig. Im Mottier-Test betrug die Sensitivität bezogen auf die Diagnosestellung einer AVWS 84% und liegt damit etwas schlechter als die von Wohlleben ermittelten Werte von



93% (Wohlleben 2004). Die Spezifität lag jedoch mit 64% deutlich über den von Wohlleben bestimmten Werten von 43% (s. Tab. 4.2.6.2). Bei der Interpretation der Ergebnisse muss allerdings beachtet werden, dass das ausgewertete Patientenkollektiv mit 41,6% eine deutlich höhere Prävalenz der Erkrankung AVWS aufwies als die Prävalenz von 2-3% im allgemeinen Kollektiv. Die erhöhte Anzahl der erkrankten Patienten hatte somit einen deutlichen Einfluss auf die Sensitivität und Spezifität. Auch PPV und NPV können daher nicht auf eine unabhängige Bevölkerungsgruppe angewendet werden. Um diesen Einfluss zu minimieren, müssten alle Untersuchungen an einem Patientenkollektiv erhoben werden, in der die Prävalenz der AVWS der Normbevölkerung entspricht. Bezüglich des MAUS Tests ergaben sich ebenfalls differente Ergebnisse als in vorherigen wissenschaftlichen Studien. Laut Nickisch et al. ist bei einem durchschnittlichen Ergebnis im MAUS Test die Wahrscheinlichkeit, dass eine AVWS vorliegt, äußerst gering (Nickisch et al. 2006). Die Sensitivität lag mit 63% jedoch deutlich unter der von Nickisch et al. beschriebenen von 97,2% (Nickisch et al. 2006). Die Spezifität lag mit 76% im guten Bereich (s. Tab. 4.3.1). Jedoch wurden die Werte an insgesamt nur 53 Patienten erhoben.

Weiterhin wurden die Daten retrospektiv ausgewertet und sind nicht prospektiv erhoben. Die Diagnosestellung AVWS beruhte dabei auf jeweils einem pathologischen objektiven Testergebnis und einem unterdurchschnittlichen subjektiven Testergebnis. Da jedoch nur zwei objektive Untersuchungsmethoden in dieser Arbeit ausgewertet wurden und dementsprechend mindestens einer von beiden pathologisch sein musste, liegt auch hier ein Bias vor. Zudem wurden die Untersuchungsmethoden in unterschiedlichem Ausmaß am Patientenkollektiv durchgeführt, so dass z.B. bei der MMN mittels Töne 2 nur die Ergebnisse von 18 Kindern, beim K-ABC Test ZN dahingegen 72 Datensätze ausgewertet wurden. Der K-ABC erfuhr eine deutlich häufigere Anwendung als die Messung der MMN mittels Töne 2. Eine einheitliche Messung an einem Patientenkollektiv wäre zum besseren Vergleich der Ergebnisse notwendig.

In einem weiteren Schritt wurde untersucht, ob sich die Sensitivität oder Spezifität ändern, wenn man zur Diagnosestellung mindestens zwei unterdurchschnittliche Untersuchungsergebnisse im Bereich der subjektiven Testmethoden als Kriterium heranzieht (s. Tab 4.3.1). Hierfür ergab sich eine sehr hohe Sensitivität bei einem Diagnosekriterium von mindestens zwei unterdurchschnittlichen subjektiven Testergebnissen von 94%. Die höchste Spezifität liegt mit 87% bei einer Diagnosestellung „AVWS“ vor, wenn mindestens vier



subjektive Tests unterdurchschnittlich ausfallen. Führt man also zwei subjektive Untersuchungsmethoden durch, die bei einem Kind beide unauffällig sind, so kann eine vorliegende AVWS mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden. Zur Sicherung der Diagnosestellung einer AVWS sollten jedoch mindestens vier subjektive Tests unterdurchschnittlich auffallen.

## 6 Schlussfolgerung

Bei einer auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung sind zentrale Prozesse des Hörens gestört, es kann eine fehlerhafte neuronale Verarbeitung auditiver Prozesse oder eine gestörte Wahrnehmung dieser Signale in höheren Zentren bestehen (Ptok et al. 2000, Nickisch et al. 2006). Diese wissenschaftlichen Ergebnisse ließen sich in dieser Arbeit bestätigen. In der Gruppe der Patienten mit AVWS fielen zum Teil sehr heterogene Defizite in der auditiven Wahrnehmung und Verarbeitung auf, die sich zum Teil in unterschiedlichsten Testverfahren niederschlugen. Es erwiesen sich verschiedenste Untersuchungsmethoden als geeignet, um zwischen der Population der Kinder mit und ohne AVWS zu differenzieren.

Der Mottier-Test erreichte die höchste Sensitivität von 86% (s. Tab 4.3.1). Er könnte durch die hohe Sensitivität als Ausschlusstest fungieren – liegt ein unauffälliges Testergebnis vor, ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Kind an AVWS erkrankt ist, sehr gering. Der Test mit der nächst höheren Sensitivität von 84% war der K-ABC ZN. Er wies ebenso die höchste Spezifität von 83% auf. Der K-ABC Test ZN könnte dementsprechend als Bestätigungstest fungieren – ist das Ergebnis unterdurchschnittlich, hat das Kind mit einer hohen Wahrscheinlichkeit AVWS. Diese Diagnosestellung könnte durch einen objektiven Test, beispielsweise die MMN Töne 1 oder 2, die beide eine Spezifität von  $\geq 75\%$  aufwiesen, bestätigt werden. Weiterhin erlangt man bei der Vermutung, dass zwei unterdurchschnittlich bewältigte subjektive Untersuchungen eine AVWS beweisen, eine Sensitivität von 94% (s. Tab. 4.3.1). Führt man also zwei subjektive Untersuchungsmethoden durch, die beide unauffällig sind, so kann eine AVWS mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden. Setzt man als Diagnosekriterium einer AVWS voraus, dass vier subjektive Tests unterdurchschnittlich sein müssen, erhält man eine Spezifität von 87%. Zur Bestätigung der Diagnose AVWS sollte demzufolge in mindestens vier durchgeführten, subjektiven Tests ein jeweils pathologisches Ergebnis vorliegen.

In der Korrelationsanalyse des Richtungshörens und der binauralen Fusion zeigten sich deutliche Zusammenhänge der Untersuchungen im Sinne einer möglichen Überschneidung. Eine weitere Auswertung bezüglich der Redundanz verschiedener Testverfahren ist in Zukunft enorm wichtig und würde zu einer ökonomischen Diagnostik führen. Die Standardisierung aller Testverfahren und die Festlegung einer diagnostischen Leitlinie sind dringend notwendig. Nur so kann eine AVWS in unterschiedlichen Einrichtungen einheitlich und sicher diagnostiziert werden.

Weiterhin fielen die einzelnen Subtests der Untersuchungen teilweise sehr unterschiedlich aus, wie man dies z.B. im PATSY erkennen konnte. Diese Befunde können als Äußerung der heterogenen Erkrankungsursache angesehen werden und bestätigen die Tatsache, dass eine AVWS einen Symptomkomplex zusammenfasst und durch verschiedenste pathologische Prozesse in unterschiedlichsten Ebenen bedingt sein kann. Es sollten demzufolge subjektive Tests aus verschiedensten Bereichen der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung zur Anwendung kommen, da nur so die verschiedensten Erkrankungsformen, die sich alle hinter dem Oberbegriff „AVWS“ verbergen, erfasst werden können. Der Mottier-Test und der K-ABC ZN sollten einen festen Platz in der AVWS-Diagnostik haben. Die Rolle der objektiven Tests muss im Rahmen der AVWS-Diagnostik in Zukunft weiter untersucht werden. Ebenfalls wäre die Aufspaltung des Oberbegriffes AVWS in eine vorwiegende Störung der Verarbeitung (z.B. auf Hirnstammebene) und eine hauptsächliche pathologische Wahrnehmung (z.B. auf kortikaler Ebene) für die Zukunft zu erwägen, wie dieses beispielsweise in angloamerikanischen Ländern bereits stattfindet. So könnten die verschiedenen „Subgruppen“ einer AVWS eventuell besser und sicherer diagnostiziert und in der Folge auch adäquater behandelt werden.

# I. Literaturverzeichnis

Ackermann H, Hertrich I, Mathiak K. 2005. Neurobiologische Grundlagen der Sprachlautwahrnehmung: klinische und funktionell-bildgebende Befunde. Sprache Stimme Gehör, 29: 112-120.

Alain C, Woods DL, Ogawa KH. 1996. Brain indices of automatic pattern processing. Neuroreport, 6: 140-144.

Alho K. 1995. Cerebral generators of mismatch negativity (MMN) and its magnetic counterpart (MMNm) elicited by sound changes. Ear Hear, 16 (1): 38-51.

Arnold SA. 1985. Objective versus visuel detection of the auditory brainstem response. Ear Hear, 6: 144-150.

ASHA. 2005. American Speech-Language-Hearing Association- (Central) auditory processing disorders. Technical report 2005. Elektronische Vollversion unter: <http://www.asha.org/members/deskref-journals/deskref/default>

Balen SA, Bretzke L, Mottecy CM, Liebel G, Moresco Boeno MR, Allenstein Gondim LM. 2009. Temporal resolution in children: comparing normal hearing, conductive hearing loss and auditory processing disorder. Braz J Otorhinolaryngol, 75(1): 123-129.

Bamiou De, Musiek Fe, Luxon LM. 2001. Aetiology and clinical presentations of auditory processing disorders- a review. Arch Dis Child 85: 361-365.

Baschek V, Steinert W, Hildebrandt L. 2003. Diagnostik zentraler Hörstörungen bei Kindern. HNO-Nachrichten, 3: 26-31.

Bellis TJ, Ferre JM. 1999. Multidimensional approach to the differential diagnosis of central auditory processing disorders in children. J An Acad Audiol, 10: 319-328.

Berger R, Demirakca T. 2000. Vergleich zwischen dem alten und neuen Auswertemodus im dichotischen Diskriminationstest. HNO, 48: 390-393.

Berger R. 2007. Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS). Z Allg Med, 83: 113-117.

Berssenbrügge, H. 2004. Diagnostik Auditiver Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen: Anamnestiche Befunde und ihr Zusammenhang mit auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen [Dissertation]. Münster: Westfälische Wilhelms-Universität.

Bishop DVM, Bishop SJ, Bright P, James C, Delaney T, Tallal P. 1999. Different origin of auditory and phonological processing problems in children with language impairment: Evidence from a twin study. J Speech Lang Hear Res, 42: 155-168.

Blauert J. 1974. Räumliches Hören. Stuttgart: Hirzel- Verlag.

Bohny A. 1981. Verbale auditive Dysgnosie. Sprachheilpädagoge, 13: 50-59.

Brand M, Markowitsch HJ. 2005. Neuropsychologie von Gedächtnisstörungen. Forum Logopädie, 4: 6-13.

Brantberg K, Fransson PA, Hansson H, Rosenhall U. 1999. Measures of the binaural interaction component in human auditory brainstem response using objective detection criteria. Scand Audiol, 28: 15-26.

Brunner M, Seibert A, Dierks A, Körkel B. 1998. Heidelberger Lautdifferenzierungstest zur Überprüfung der auditiven Wahrnehmungstrennschärfe. Audiometrie Disk 19. Westra Elektroakustik, Wertingen.

Brunner M. 2007. Schuster, bleib bei Deinen Leisten. HNO, 55: 241-244.

Brunner M, Hornberger C. 2007. Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) - Drei Thesen zur Diagnosestellung und Therapie. HNO, 55: 331-332.

Buller N, Ptak M. 2006. Gibt es einen Zusammenhang zwischen der basalen auditorischen Verarbeitung und der phonologischen Bewusstheit bei Kindern im Vorschulalter? HNO, 54: 715-720.

Burre A. 2006. Diagnose und Therapie auditiver Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen in der Praxis. Forum Logopädie, 20: 32-39.

Cacace At, Mc Farland DJ. 1998. Central auditory processing disorder in school-aged children: a critical review. J Speech Lang Hear Res, 41: 355-373.

Cheour M, Albo K, Ceponiene R, Sainio K, Pohjavuori M, Aaltonen O, Näätänen R. 1998. Maturation of mismatch negativity in infants. Int J Psychophysiol, 29 (2): 217-26.

Chermak GD, Somers EK, Seikel JA. 1998. Behavioral signs of central auditory processing disorder and attention deficit hyperactivity disorder. J Am Acad Audiol, 9: 78-84.

Chermak GD, Hall JW, Musiek FE. 1999. Differential diagnosis and management of central auditory processing disorder and attention deficit hyperactivity disorder. J Am Acad Audiol, 10: 289-303.

Church MW, Abel EL, Kaltenbach JA, Overbeck GW. 1996. Effects of prenatal alcohol exposure and aging on auditory function in the rat: preliminary results. Alcohol Clin Exp Res, 20 (1): 172-179.

CSHA. 2002. California Speech-Language-Hearing Association's - Guidelines for the diagnosis and Treatment of Auditory Processing Disorders. Elektronisch verfügbar unter: [www.Csha.org/Positionpapers/CAPD.pdf](http://www.Csha.org/Positionpapers/CAPD.pdf)

Delb W. 2003. Objektive Diagnostik der zentralen auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung (AVWS). HNO, 51 (2): 99-103.

Delb W, Strauss DJ, Hohenberg G, Plinkert PK. 2003. The binaural interaction component (BIC) in children with central auditory processing disorders (CAPD). Int J Audiol, 42 (7): 401-412.

Delb W, Praetorius M. 2004. Physiologie und Pathophysiologie der Hörwahrnehmung. Sprache Stimme Gehör, 28: 51-59.

Delb W, Strauss DJ, Plinkert PK. 2004. A time-frequency feature extraction scheme for the automated detection of binaural interaction in the auditory brainstem responses. Int J Audiol, 43: 69-78.

Delb W. 2007. Die binauralen Interaktionspotenziale –ein klinisch verwertbares diagnostisches Instrument? HNO, 55: 429-434.

Demirakca T, Berger R. 1997. Anteil auditiv wahrnehmungsgestörter Kinder im Rahmen einer Sprachentwicklungsverzögerung. In: Frühförderung im Alter von 0-3 Jahren. Referate, Vorträge, und Poster zur 70. Jubiläumstagung der Deutschen Gesellschaft für Sprach- und Stimmheilkunde e.V. Münster, 101-103.

Dierks A, Seibert A, Brunner M, Körkel B, Haffner J, Strehlow U, Parzer P, Resch F. 1999. Testkonstruktion, -analyse und Erprobung des Heidelberger Lautdifferenzierungstest zur auditiv-kinästhetischen Wahrnehmungstrennschärfe. Z Kindern Jugendpsychiatr Psychother, 27: 29-36.

Dornitz DM, Schow RL. 2000. A new CAPD battery-multiple auditory processing assessment: factor analysis and comparison with SCAN. Am J Audiol, 9: 101-111.

Dougherty RF, Cynader MS, Bjornson BH, Edgell D, Giaschi DE. 1998. Dichotic pitch: a new stimulus distinguishes normal and dyslectic auditory function. NeuroReport, 9: 3001-3005.

Esser G, Wurm-Dinse U. 1993. Fehlhörigkeit, Sprachwahrnehmungsstörungen und LRS-Zusammenhänge? In: Bundesverband Legasthenie e.V., Hrsg. Bericht über den Fachkongress. Bundesverband für Legasthenie. Berlin, 49-72.

Feldhusen F, Möhring L, Brunner M, Troost J, Spielberger C, Braun-Frank L, Schoenfelder D, Pröschel U. 2004. Audiologische Diagnostik bei Kindern – Verwendbarkeit von unterschiedlichem Sprachmaterial. HNO, 52: 156-161.

Furst M, Levine RA, McGaffigan PM. 1985. Click lateralization is related to the  $\beta$  component of the dichotic brainstem auditory evoked Potentials of human subjects. J Acoustic Soc Am, 78: 1644-1651.

Furst M, Eyal S, Korczyn AD. 1990. Prediction of binaural click lateralization by brainstem auditory evoked Potentials. Hear Res, 49: 347- 359.

Garrido MI, Friston KJ, Kiebel SJ, Stephan KE, Baldeweg T, Kilner JM. 2008. The functional anatomy of the MMN: A DCM study of the roving paradigm. Neuroimage, 42 (2): 936-944.

Giraud AL, Price CJ. 2001. The constraints functional neuroimaging places on classical models of auditory word processing. J Cogn Neurosci, 13 (6): 754-765.

Gopal KV, Pierel K. 1999. Binaural interaction in children at risk of central auditory processing disorders. Scand Audiol, 28: 77-84.

- Gopal VK, Kowalski J. 1999. Slope analysis of auditory brainstem responses in children at risk of central auditory hearing disorders. *Scan Audiol*, 28: 85-90.
- Grisseemann H, Hrsg. 1981. ZLT, Zürcher Lesetest. Förderdiagnostik bei gestörtem Schriftspracherwerb. Fünfte Auflage. Bern: Verlag Hans Huber.
- Grzella I, Müller BW, Oades RD, Bender S, Schall U, Zerbin D, Wolstein J, Sartory G. 2001. Novelty-elicited mismatch negativity in patients with schizophrenia on admission and discharge. *J Psychiatry Neurosci*, 26 (3): 235-246.
- Gunnarson A D, Finitzo T. 1991. Conductive hearing loss in infancy: effects on later auditory brainstem electrophysiology. *J Speech Hear Res*, 34:1207–1215.
- Günther H, Günther W. 1991. Auditive Dysfunktion und Sprachentwicklungsstörungen- Theoretische Überlegungen und empirische Daten zu einem verborgenen Problemzusammenhang. *Sprache- Stimme- Gehör*, 15: 12-18.
- Haenschel C, Vernon DJ, Prabuddh H, Gruzelier JH, Baldeweg T. 2005. Event-related Brain Potenzial Correlates of Human Auditory Sensory Memory-Trace Formation. *J Neurosci*, 25: 10494-10501.
- Heil P, Neubauer H A. 2003. unifying basis of auditory treshold based on temporal summation. *PNAS*, 100:6151-6156.
- Hess M. 2001. Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen im Kindesalter. *HNO*, 49 (8):593-597.
- Hindley P. 1997. Psychiatric aspects of hearing impairment. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 38:101-117.
- Hoth S, Benz M. 2007. Zur Beziehung zwischen den binauralen DifferenzPotenzialen und dem Richtungshörvermögen. *HNO*, 55:447-456.
- Humphreys GW, Riddoch MJ, Price CJ. 1997. Top-down processes in object identification: evidence from experimental psychology, neuropsychology and functional anatomy. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 325: 1275- 1282.
- Ito S, Hoke M, Pantev C, Lütkenhöner B. 1988. Binaural interaction in brainstem auditory evoked responses elicited by frequency-specific stimuli. *Hear Res*, 35 (1): 9-19.
- Jerger J, Musiek Fe. 2000. Report of the consensus conference on the diagnosis of auditory processing disorders in school aged children. *J Am Acad Audiol*, 11: 467-474.
- Jiang ZD, Tierney TS. 1996. Binaural interaction in human neonatal auditory brainstem. *Pediatr Res*, 39: 708-714.
- Joseph A, Jahn K, Zwirner P. 2003. Psychische Auffälligkeiten bei Kindern mit auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen. In: 20. Wissenschaftliche Jahrestagung der DGPP Rostock, 12.-14.09.2003. Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. Düsseldorf, Köln: German Medical Science. Elektronische Vollversion unter: <http://www.egms.de/de/meetings/dgpp2003/03dgpp095.shtml>

Katz J, Kusnierczyk K. 1993. Central auditory processing: the audilogic contricution. Semin Hear, 14: 191-199.

Keilmann A, Müller J, Neuberger D. 2003. Psychisches und physisches Wohlbefinden bei Kindern mit permanenten Hörstörungen. In: 20. Wissenschaftliche Jahrestagung der DGPP Rostock, 12.-14.09.2003. Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. Düsseldorf, Köln: German Medical Science. Elektronische Vollversion unter: <http://www.egms.de/de/meetings/dgpp2003/03dgpp092.shtml>

Keith RW. 2000. Development and standardization of SCAN-C Test for Auditory Processing Disorders in Children. J Am Acad Audiol, 11 (8): 438-445.

Kiese-Himmel C, Kruse E. 2006. Kritische Analyse einer Kinderklientel mit Verdacht auf auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung. Laryng- Rhino-Otologie, 85:738-745.

Kiese-Himmel C. 2007. Subtest Zahlennachsprechen der K-ABC für Kinder mit auditiver Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung. HNO, 55: 972- 980.

Kiese-Himmel C, Kruse E. 2007. Phonologische Gedächtnisspanne und dichotische Sprachdiskrimination bei Kindern mit isolierter AVWS. In: 24. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie e.V. Innsbruck, Österreich, 28.-30.09.2007. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House. Elektronische Version unter: <http://www.egms.de/en/meetings/dgpp2007/07dgpp81.shtml>

Kiese-Himmel C, Nickisch A. 2009. Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsleistungen 8- bis 10-jähriger Kinder: Welche Tests trennen auffällige von unauffälligen Kindern? In: 26. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie Leipzig, 11.-13.09.2009. Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie, Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House. Elektronische Vollversion unter: <http://www.egms.de/static/en/meetings/dgpp2009/09dgpp24.shtml>

Kiese-Himmel C, Reeh M. 2009. Sequenzielle Informationsverarbeitung bei Kindern mit und ohne auditiver Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung. HNO, 57:1285–1290.

Kraus N, Ozdamar O, Stein L, Reed N. 1984. Absent auditory brainstem response: peripheral hearing loss or brain stem dysfunction? Laryngoscope, 94 (3): 400-406.

Kühn-Inacker H, Weinmann S. 2000. Training der Ordnungsschwelle - Ein Ansatz zur Förderung der Sprachwahrnehmung bei Kindern mit einer Zentral Auditiven Verarbeitungsstörung (ZAVS)? Sprache Stimme Gehör, 24: 119-125.

Kujala A, Alho K, Valle S, Sivonen P, Ilmoiniemi RJ, Alku P, Näätänen R. 2002. Context modulates processing of speech sounds in the right auditory cortex of human subjects. Neurosci Lett, 331(2): 91-94.

Lehnhardt E, Laszig R. 2000. Praktische Audiometrie. Lehrbuch und synoptischer Atlas. Achte Aufl. Stuttgart: Thieme Verlag.



- Leurpendeur A, Weikert M, Fuhrmann J, Schaller P. 2006. Diagnostik der Auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen – ein pragmatisches Konzept aus der phoniatriisch-logopädischen Praxis. LOGOS Interdisziplinär, 14 (2): 113-121.
- Linder M, Grisseman H. 2000. Züricher Lesetest. Sechste Auflage . Bern: Huber Verlag
- Maddalena H de, Watzlawik-Schumacher C, Schmitz-Salue C, Arold R. 2001. Die dichotischen Diskriminationstests von Feldmann und Uttenweiler: Welcher Test sollte bei 8- bis 10- jährigen Kindern verwendet werden? Oto-Rhino-Laryngologia Nova, 11: 271-276.
- Maddalena H de, Wannke M, Brosch S. 2004. Dichotische Hörtests im Vergleich: Ergebnisse einer empirischen Studie mit Schulkindern. In: 21. Wissenschaftliche Jahrestagung der DGPP Freiburg/Breisgau, 10.-12.09.2004. Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. Düsseldorf, Köln: German Medical Science. elektronische Vollversion unter: <http://www.egms.de/static/en/meetings/dgpp2004/04dgpp50.shtml>
- Massinger C, Kröger BJ, Neuschaefer-Rube C. 2003. Untersuchung zur Optimierung eines Lautdiskriminationstests für die Anwendung bei Kindern mit Verdacht auf eine zentral-auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung. In: 20. Wissenschaftliche Jahrestagung der DGPP Rostock, 12.-14.09.2003. Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie Düsseldorf, Köln: German Medical Science. elektronische Vollversion unter: <http://www.egms.de/static/en/meetings/dgpp2003/03dgpp070.shtml>
- Matschke, RG. 1993. Untersuchungen zur Reifung der menschlichen Hörbahn. Stuttgart, New York: Thieme Georg Verlag
- Matulat P, Riebandt M, Lamprecht-Dinnesen A. 1999. Zentral-auditive Verarbeitungsstörungen bei Lese- und Rechtschreibschwäche – Ergebnisse einer retrospektiven Erhebung. Otorhinolaryngol Nova, 9: 115–119.
- Mc Adams S. 1993. Recognition of sound sources and events. In: Mc Adams S, Bigand E Hrsg. Thinking in sound: The cognitive psychology of human audition. Oxford: Oxford University Press, 146-198.
- Mc Pherson DL, Davies K. 1995. Preliminary observations of binaural hearing in an attention-deficit pediatric population. Fiziol Celoveka, 21(1):47-53
- Melchers P, Preuß U. 2001. Kaufmann Assessment Battery for Children (Deutsche Version). Sechste Aufl. Frankfurt am Main: Swets und Zeitlinger.
- Minning U. 2004. Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung (AVWS)-Forschungsbedarf und Therapiemöglichkeiten. LOGOS Interdisziplinär, 12 (3): 197- 203.
- Möhring L, Schöler H, Brunner M, Pröschel U. 2003. Zur Diagnostik struktureller Defizite bei Lese-Rechtschreib-Störungen in der klinischen Arbeit: Beziehungen zwischen verschiedenen Leistungsindikatoren. Laryngo-Rhino-Otol, 82: 83-91.
- Moore DR. 1991. Anatomy and physiology of binaural hearing. Audiology, 30: 125-134.
- Moore JK. 2000. Organization of the human superiorolivary complex. Microsc Res Tech, 51 (4): 403-412.

Moser T, Strenzke N, Meyer A, Lesinski-Schiedat A, Lenarz T, Beutner D, Foerst A, Lang-Roth R, von Wedel H, Walger M, Gross M, Keilmann A, Limberger A, Steffens T, Strutz J. 2006. Diagnostik und Therapie der auditorischen Synaptopathie/ Neuropathie. HNO, 54: 833-841.

Mottier G. 1951. Mottier Test. Über Untersuchungen zur Sprache lesegestörter Kinder. Folia Phoniatri Logop, 3: 170-177.

Näätänen R, Lehtokoski A, Lennes M, Cheour M, Huottilainen M, Livonen A, Vainio M, Alku P, Ilmoniemi RJ, Luuk A, Allik J, Sinkkonen J, Alho K. 1997. Language-specific phoneme representations revealed by electric and magnetic brain responses. Nature, 385: 432- 434.

Näätänen R, Winkler I. 1999. The concept of auditory stimulus representation in cognitive neuroscience. Psychological Bulletin, 125: 826-859.

Näätänen R. 2000. The mismatch negativity as an index of the perception of speech sounds by the human brain. Ross Fiziol Zh Im I M Sechenova, 86 (11): 1481-1501

Näätänen R, Escera C. 2000. Mismatch negativity: clinical and other applications. Audiol Neurotol, 5: 105-110

Neuschäfer-Rube CH, Matern G, Meixner R, Klajmann S, Neumann H. 2000. Zur Problematik auditiver Verarbeitungsstörungen. Sprache-Stimme-Gehör, 24: 113-118.

Neijenhuis K, Tschur H, Snik A. 2004. The effect of mild hearing impairment on auditory processing tests. J Am Acad Audiol, 15(1): 6-16.

Nickisch A, Oberle D. 2002. Analyse von Testprofilen bei auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen. In: Kruse E, Gross M, Hrsg. Aktuelle phoniatriisch-pädaudiologische Aspekte 2002/2003. Heidelberg: Median-Verlag, 327-331.

Nickisch A, Heuckann C, Burger T, Massinger C. 2004. Münchner Auditiver Screeningtest für Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (MAUS). In: Gross M, Kruse E, Hrsg. Aktuelle phoniatriisch- pädaudiologische Aspekte. Bd. 12. Niebüll: Videel, 357- 360.

Nickisch A, Massinger C. 2005. Die Bedeutung sprachfreier Verfahren bei auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen. In: 22. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie, 24. Kongress der Union der Europäischen Phoniater Berlin, 16.-18.09.2005. Düsseldorf, Köln: German Medical Science. Elektronische Vollversion unter: <http://www.egms.de/en/meetings/dgpp2005/05dgpp020.shtml>

Nickisch A, Kiese-Himmel C, Schönweiler R, Gross M, Radu HJ. 2005. Zusammenhänge zwischen „Anamnesebogen für Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen“ und „Heidelberger Lautdifferenzierungstest“. Laryngo-Rhino-Otologie, 84: 487–492.

Nickisch A, Heuckmann C, Burger T, Massinger C. 2006. Münchner Auditiver Screeningtest für Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (MAUS). Laryngo-Rhino-Otol, 85: 253-259.

- Nickisch A, Gross M, Schönweiler R, Uttenweiler V, am Zehnhoff-Dinnesen A, Berger R, Radü HJ, Ptok M. 2007. Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen – Konsensuspapier der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. HNO, 55: 61-72.
- Niemeyer W. 1976. Bremer Lautdiskriminationstest. In: Niemeyer W, Hrsg. Bremer Hilfen für lese-rechtschreibschwache Kinder. Zweite Aufl. Bremen: Paul Herbig.
- Palva A, Jokinen K. 1975. The Role of the Binaural Test in Filtered Speech Audiometry. Acta Otolaryngol, 79: 310-314.
- Peck DH, Gressard RP, Hellerman SP. 1991. Central auditory processing in the school-aged child: Is it clinically relevant. J Dev Behav Pediatr, 12 (5): 324-326.
- Pickenhain L. 2003. Die neuro-wissenschaftlichen Grundlagen und der Zeitverlauf des menschlichen Gedächtnisses. Sprache Stimme Gehör, 27: 3-10.
- Pröschel ULJ, Döring WH. 1990. Richtungshören in der Horizontalebene bei Störungen der auditiven Selektionsfähigkeit und bei seitengleicher Innenohrschwerhörigkeit. Audiol Akust, 29: 98–107 und 170–177.
- Ptok M. 1997. Das schwerhörige Kind. Dtsch Ärztebl, 94: 1932-1937.
- Ptok M. 2000. Otoakustische Emissionen, HirnstammPotenziale, Tonschwellengehör und Sprachverständlichkeit bei auditorischer Neuropathie. HNO, 48:28-32.
- Ptok M, Berger R, von Deuster C, Gross M, Lamprecht-Dinnensen A, Nickisch A, Radü HJ, Uttenweiler V. 2000. Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen - Konsensusstatement. HNO, 48: 357-360.
- Ptok M, Ptok A. 2001. Formen kindlicher Schwerhörigkeit. Monatsschrift Kinderheilkunde, 149 (9): 870-876.
- Ptok M, Blachnik P, Schönweiler R. 2004 a. Späte auditorische Potenziale (NC-ERP) bei Kindern mit Symptomen einer auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörung. HNO, 52: 67-74.
- Ptok M, Lichte C, Buller N, Wink T, Naumann CL. 2004 b. Hörmerkspanne und Minimalpaardiskrimination bei Vorschulkindern. HNO, 52. 1109-1112.
- Ptok M, Buller N, Schwemmler C, Bergmann C, Luerßen K. 2005 a. Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen versus Aufmerksamkeitsstörungen mit/ ohne Hyperaktivität. HNO, 54: 405- 414.
- Ptok M, Lichte C, Buller N, Wink T, Kuske S, Naumann CL. 2005 b. Ist die Lautdiskriminationsfähigkeit geschlechtsabhängig? Laryngo-Rhino-Otol, 84: 20-23.
- Ptok M, Büssing B, Schwemmler C, Lichte C. 2006 a. Zur Stabilität der Lautdiskriminationsfähigkeit im Vorschulalter. HNO, 54: 635–642.

- Ptok M, Lichte C, Büssing B, Schwemmler C, Teicher N. 2006 b. Zur Entwicklung eines Testmaterials für die Überprüfung der Lautdiskriminationsfähigkeit im Vorschulalter. *Laryngo-Rhino-Otol*, 85: 640-648.
- Ptok M, Meisen R. 2007. Zum Zusammenhang zwischen basaler auditorischer und phonologischer Verarbeitung. *HNO*, 55: 819-826.
- Ptok M, Berendes K, Gottal S, Grabherr B, Schneeberg J, Wittler M. 2008. Phonologische Verarbeitung. *Monatsschr Kinderheilkd*, 156: 860–866.
- Rahne T, Böckmann M, von Specht H, Sussman E. 2007. Visual cues can modulate integration and segregation of objects in auditory scene analysis. *Brain Research*, 144: 127-135.
- Ramus F. 2003. Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Curr Opin Neurobiol*, 13: 212-218.
- Renner G, Rothermel C, Krampen G. 2008. Befunde zur Reliabilität und Validität des Mottier-Tests in einer klinisch-sozialpädiatrischen Stichprobe. *Sprache Stimme Gehör*, 32: 30-35.
- Risse T, Kiese-Himmel C. 2009. Der Mottiertest – Teststatistische Überprüfung an 4- bis 6-jährigen Kindern. *HNO*, 57: 523-528.
- Roberts JE, Burchinal MR, Zeisel SA. 2002. Otitis media in early childhood in relation to childrens school-age language and academic skills. *Pediatrics*, 110 (4): 696-706.
- Rosenkötter H. 2003. *Auditive Wahrnehmungsstörungen*. Stuttgart: Klett Cotta.
- Rumsey D. 2008. *Weiterführende Statistik für Dummies*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
- Sams M, Aulanko R, Hämäläinen M, Hari R, Lounasmaa OV, Lu ST, Simola J. 1991. Seeing speech: Visual information from lip movements modifies activity in the human auditory cortex. *Neurosci Lett*, 127 (1): 141–145.
- Scherg M. 1991. *Akustisch evozierte Potenziale: Grundlagen- Entstehungsmechanismen- Quellenmodell*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Seibert A, Dierks A, Strehlow U, Haffner J, Parzer P, Resch F. 2001. Der Mottier-Test als computer-gestütztes Screeningverfahren bei der Legastheniediagnostik. *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie*, 2: 118-126.
- Schlöndorff G, Tegtmeier W. 1973. Die Entwicklung des dichotischen Sprachverstehens. *Z Laryng Rhinol*, 52: 28-31.
- Schmidt R, Winter K, Tesch-Römer C, Behrndt S-M, Steffen M, Nawka T. 2007. Lassen sich auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) bei Kindern mit Lese-Rechtschreib-Störungen nachweisen. *Laryngo-Rhino-Otol*, 86: 22-26.
- Schorn K. 1997. Diagnostik von Hörstörungen im Kindesalter. *Monatsschr Kinderheilkd*, 145: 1241-1251.

Schow RL, Seikel JA, Chermak GD, Berent M. 2000. Central Auditory Processing and Test Measures: ASHA 1996, Revisited. *Am J Audiol*, 9: 63-68.

Schwemmler C, Schwemmler U, Ptak M. 2007. Störungen der Aufmerksamkeit und Aktivität (ADHS). *HNO*, 55: 569-574.

Shamma S. 2001. On the role of space and time in auditory processing. *Trends in cognitive sciences*, 5(8): 340-348.

Singer J, Hurley RM, Preece JP. 1998. Effectiveness of Central Auditory Processing Tests with Children. *American Journal of Audiology*, 7: 73-83.

Silbernagel S, Despopoulos A. 2003. Taschenatlas der Physiologie. Sechste Aufl. Stuttgart, New York: Thieme Verlag, 364 – 367.

Starr A, McPherson D, Patterson J, Don M, Luxford W, Shannon R, Sininger Y, Tonakawa L, Waring M. 1991. Absence of both auditory evoked Potentials and auditory percepts dependent on timing cues. *Brain*, 114: 1157-1180.

Stollmann MH, van Velzen EC, Simkens HM, Snik AF, van den Broek P. 2004. Development of auditory processing in 6-12-year-old children: a longitudinal study. *Int J Audiol*, 43 (1): 34-44.

Strauss DJ, Delb W, Plinkert PK. 2004. Analysis and detection of binaural interaction in auditory evoked brainstem responses by time-scale representations. *Comput Biol Med*, 34 (6): 461-477.

Strauss DJ, Delb W. 2005. On the optimal extraction of neural correlates of binaural interaction for bilateral cochlear implant adjustments. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 6: 5635-5638.

Suchodoletz von W. 1999. Neurophysiologische Untersuchungen bei Verdacht auf Hörwahrnehmungsstörungen. *Z Audiol*, 1 : 86-89.

Suchodoletz von W, Alberti A, Berwanger D. 2004. Sind umschriebene Sprachentwicklungsstörungen Folge von Defiziten in der auditiven Wahrnehmung. *Klin Pädiatr* 2004; 216: 49-56.

Sussmann JE. 1993. Focused attention during selective adaptation along a place of articulation continuum. *J. Acoust Soc Am*, 93: 488-498.

Trammer RM, Aust G, Köster K, Obladen M. 1992. Narcotic and nicotine effects on the neonatal auditory system. *Acta Paediatr*, 81: 962-965.

Tallal P, Galaburda AM, Lliná RR, Euler C von. 1993. Temporal information processing in the nervous system. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 682: 27-47.

Tonnquist-Uhlén I, Borg E, Persson HE, Spens KE. 1996. Topographie of auditory evoked cortical Potentials in children with severe language impairment: the N1 component. *Audiol, Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 100: 250-260.

- Uttenweiler V. 1980. Dichotischer Diskriminationstest für Kinder. Sprache Stimme Gehör, 4: 107-111.
- Uttenweiler V. 1996. Diagnostik zentraler Hörstörungen, auditiver Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörungen. Sprache Stimme Gehör, 20: 80-90.
- Vanniassegaram I, Cohen M, Rosen S. 2004. Evaluation of selected auditory tests in school-aged children suspected of auditory processing disorders. Ear Hear, 25(6): 586-597.
- Wada S, Starr A. 1989. Anatomical bases of binaural interaction in auditory brain-stem responses from guinea pig. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 72 (6): 535-544.
- Walger M, Stötzer S, Meister H, Foerst A, von Wedel H. 2003. Elektrophysiologische und psychoakustische Untersuchungen zur binauralen Signalverarbeitung normalhörender Erwachsener. HNO, 51: 125-133.
- Warnke F. 2000. Sprachauffälligkeiten: nur ein Automatisierungsdefizit. LOGOS Interdisziplinär, 8 (1): 43-51.
- Welte V. 1981. Der Mottier-Test, ein Prüfmittel für die Lautdifferenzierungsfähigkeit und die auditive Merkfähigkeit. Sprache Stimme Gehör, 5: 121-125.
- Wenke K, Kruse E. 2007. Mismatch Negativity als Element der AVWS-Diagnostik. In: 24. Wissenschaftliche Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie e.V. Innsbruck, Österreich, 28.-30.09.2007. Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House. Elektronische Vollversion unter: <http://www.egms.de/en/meetings/dgpp2007/07dgpp78.shtml>
- Winkler I, Tervaniemi M, Schröger E, Wolff C, Näätänen R. 1998. Preattentive processing of auditory spatial information in humans. Neurosci Lett, 242 (1) : 49-52.
- Wohlleben B, Nubel C, Gross M. 2003. Sensitivitäts- und Spezifitätsanalyse von 14 Testverfahren zur Untersuchung der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung. In: Kruse E und Gross M, Hrsg. Aktuelle phoniatriisch- pädaudiologische Aspekte 2003. Heidelberg: Videel-Verlag, 300- 303.
- Wohlleben B. 2004. Untersuchung der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung bei Schulkindern der 2. und 3. Klassenstufe [Dissertation]. Berlin: Charité – Universitätsmedizin, Campus Benjamin Franklin.
- Wohlleben B, Gross M. 2004. Optimierung der Trennschärfe von 14 Testverfahren zur Untersuchung der auditiven Verarbeitung und Wahrnehmung mittels Baumanalyse. In: 21. Wissenschaftliche Jahrestagung der DGPP Freiburg/Breisgau, 10.-12.09.2004. Deutsche Gesellschaft für Phoniatrie und Pädaudiologie. Düsseldorf, Köln: German Medical Science. Elektronische Vollversion unter: <http://www.egms.de/en/meetings/dgpp2004/04dgpp52.shtml>
- Wohlleben B, Rosenfeld J, Gross M. 2007. Auditive Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen (AVWS) – Erste Normwerte zur standardisierten Diagnostik bei Schulkindern. HNO, 55: 403 – 410.

Woldorff MG, Hillyard SA, Gallen CC, Hampson SR, Bloom FE. 1998. Magnetoencephalographic recordings demonstrate attentional modulation of mismatch-related neural activity in human auditory cortex. *Psychophysiology*, 35: 283-292.

Zimbardo P. 1995. *Psychologie*. Sechste Aufl. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer Verlag



## II. Anhang

### a. Abbildungsverzeichnis

Nr.	Nr. im Text	Titel	Seite
1.	2.3.7.4.1.1.1	Binaurale Fusion eines gesunden Kindes	28
2.	2.3.7.4.1.1.2	Pathologischer Befund einer binauralen Fusion bei AVWS	29
3.	2.3.7.4.1.2.1	MMN eines gesunden Patienten	30
4.	2.3.7.4.1.2.2	MMN eines Patienten mit AVWS	30
5.	3.2.2.1	Phonem „Da“ bei 70 dB	41
6.	3.2.2.2	Sinuston, 1 kHz bei 70 dB	41
7.	4.1.1.1	Die Mediane der Latenzen der binauralen Fusion von Kindern ohne AVWS (n=38) und Kindern mit AVWS (n=31)	46
8.	4.1.1.2	Relative Werteverteilung der Latenz J5 binaural der binauralen Fusion, gemessen an 38 Kindern ohne AVWS und 31 Kindern mit AVWS, in mSek	47
9.	4.1.1.3	Relative Werteverteilung der Latenz DN1 der binauralen Fusion, gemessen an Kindern ohne AVWS (n=38) und Kindern mit AVWS (n=31), in mSek	47
10.	4.1.1.4	Verteilung der Differenz Latenz DN2 (=Lat DN2) - Latenz J 5 binaural (=Lat J5 bin) von 38 Kindern ohne AVWS und 31 Kindern mit AVWS, angegebenes Gruppenmittel auf X-Achse	48
11.	4.1.2.1	Die Mediane der MMN Latenzen in mSek, gemessen an 39 Kindern ohne AVWS und 26 Kindern mit AVWS (T= Töne, Phon= Phoneme, C4= Ableitung C4, C3= Ableitung C3)	50
12.	4.1.2.2	Die Mediane der Amplituden der MMN in $\mu$ V, gemessen an 39 Kindern ohne AVWS und 26 Kindern mit AVWS (T= Töne, Phon= Phoneme)	50
13.	4.2.1.1	Ergebnisse des Richtungshörtests Kinder ohne AVWS (n=20) und Kinder mit AVWS (n=15), 0= keine Lokalisation richtig erkannt, 1= alle richtig erkannt	52
14.	4.2.3.1	Grafische Verteilung der Anzahl der bestandenen Untertests (Testergebnis $\geq 16\%$ ) des PATSY, von 40 Kindern ohne AVWS und 24 Kindern mit AVWS	54
15.	4.2.4.1	Relative Anzahl der unterdurchschnittlichen und bestandenen Testwerte im dichotischen Hörtest von Kindern ohne AVWS (n=39) und Kindern mit AVWS (n=25)	56
16.	4.2.5.1	Die Ergebnisse des BLDT von 33 Kindern ohne AVWS und 24 Kindern mit AVWS	57



17.	4.2.6.1	Ergebnisse des Mottier-Tests von 36 Kindern ohne AVWS und 28 Kindern mit AVWS	58
18.	4.2.7.1	Grafische Gegenüberstellung der Ergebnisse des K-ABC Subtests „Zahlen nachsprechen“ zwischen 41 Kindern ohne AVWS und 31 Kindern mit AVWS	59
19.	4.2.8.1	Die Ergebnisse des PET WE von 32 Kindern ohne AVWS und 24 Kindern mit AVWS	60
20.	4.2.9.1	Ergebnisse des Silbenfolge-Tests von 29 Kindern ohne AVWS und 24 Kindern mit AVWS	61
21.	4.2.10.1	Rangkorrelation nach Spearman zwischen Richtungshören (1= alle Lokalisationen richtig gehört, 0= keine Lokalisation richtig gehört) und Latenz DN1 der binauralen Fusion; von 15 Kindern mit AVWS	65

## b. Tabellenverzeichnis

Nr.	Nr. im Text	Titel	Seite
1.	2.3.5	Die Abschnitte der Hörbahn, ihre auditiven Teilfunktionen und Funktionsprüfung sowie die Symptome bei AVWS	19
2.	2.3.6.1	Symptome und ihre unterschiedlichen Gewichtung bei Patienten mit AVWS bzw. ADHS, modifiziert nach Chermak et al. 1998	21
3.	4.1.1.1	Statistische Signifikanzniveaus der Komponenten der binauralen Fusion zwischen 38 Kindern ohne AVWS und 31 Kindern mit AVWS (Lat = Latenz, Amp = Amplitude), (*= $p \leq 0,05$ , ** = $p \leq 0,01$ ), mittels Mann-Whitney-U-Test	49
4.	4.1.2.1	Statistische Auswertung der MMN-Komponenten mittels Mann-Whitney-U-Test, Kinder ohne AVWS (n=39) und Kinder mit AVWS (n=26), (*= $p \leq 0,05$ )	51
5.	4.2.1.1	Auswertung des Richtungshörtests zwischen Kindern ohne AVWS (n=20) und Kindern mit AVWS (n=15), mittels Mann-Whitney-U-Test	51
6.	4.2.2.1	Mittelwerte vom Hören im Störschall im Vergleich	52
7.	4.2.2.2	Statistische Auswertung des Hörens im Störschall von Kindern ohne AVWS (n=33) und Kindern mit AVWS (n=24) mittels Mann-Whitney-U-Test, *= $p \leq 0,05$ , ** = $p \leq 0,01$	53
8.	4.2.3.1	Die im Mittel bestandenen PATSY-Subtests, Kinder ohne AVWS und Kinder mit AVWS	53
9.	4.2.3.2	Statistischer Unterschied der PATSY-Ergebnisse zwischen Kindern ohne AVWS (n=40) und Kindern mit AVWS (n=24) mittels Mann-Whitney-U-Test (*= $p \leq 0,05$ , ** = $p \leq 0,01$ )	53
10.	4.2.3.3	Verteilung der 5 PATSY-Untertests bei 24 Kindern mit AVWS, Untertest mit mehr als/ gleich 16 % bestanden = geschwärzt, nicht bestanden = X	54
11.	4.2.3.4	Die Verteilung der 5 Untertests des PATSY bei 40 Kindern ohne AVWS, Untertest mit mehr als/ gleich 16 % bestanden = geschwärzt, nicht bestanden = X	55
12.	4.2.4.1	Die Mittelwerte im dichotischen Hörtest nach Uttenweiler	55
13.	4.2.4.2	Statistischer Vergleich des dichotischen Hörtest von Kindern mit AVWS (n=25) und Kindern ohne AVWS (n=39), mittels Mann-Whitney-U-Test (*= $p \leq 0,05$ , ** = $p \leq 0,01$ )	56
14.	4.2.5.1	Statistische Auswertung des BLDT von 33 Kindern ohne AVWS und 24 Kindern mit AVWS mittels Mann-Whitney-U-Test (*= $p \leq 0,05$ , ** = $p \leq 0,01$ )	57
15.	4.2.6.1	Statistischer Vergleich der Ergebnisse des Mottier-Tests von 36 Kindern ohne AVWS und 28 Kindern mit AVWS mittels Mann-Whitney-U-Test (*= $p \leq 0,05$ , ** = $p \leq 0,01$ )	58

16.	4.2.7.1	Vergleich des K-ABC Subtests „Zahlen nachsprechen“ zwischen 41 Kindern ohne AVWS und 31 Kindern mit AVWS mittels Mann-Whitney-U-Test (*= $p \leq 0,05$ , **= $p \leq 0,01$ )	59
17.	4.2.8.1	Statistischer Vergleich des PET WE zwischen 32 Kindern ohne AVWS und 24 Kindern mit AVWS mittels Mann-Whitney-U-Test, (*= $p \leq 0,05$ , **= $p \leq 0,01$ )	60
18.	4.2.9.1	Statistischer Vergleich des MAUS Tests zwischen 29 Kindern ohne AVWS und 24 Kindern mit AVWS mittels Mann-Whitney-U-Test, *= $p \leq 0,05$ , **= $p \leq 0,01$	62
19.	4.2.9.2	Die Korrelation aller Subtests des MAUS Test mit den Untertests „Silbenfolge“ sowie „Störgeräusch“ rechts, links und insgesamt; 1.Wert=Korrelationskoeffizient nach Spearman, 2.Wert (in Klammern)= 2-seitige Signifikanz, *= $p \leq 0,05$ ; **= $p \leq 0,01$	63
20.	4.2.9.3	Die Korrelation aller Subtests des MAUS Test mit den Untertests „Phonemdifferenzierung“ und „-identifizierung“ sowie Anzahl der insgesamt bestandenen Untertests; 1.Wert=Korrelationskoeffizient nach Spearman, 2.Wert (in 34.Klammern)=2-seitige Signifikanz, *= $p \leq 0,05$ ; **= $p \leq 0,01$	63
21.	4.2.10.1	Median der Latenz DN1 der binauralen Fusion von 15 Kindern mit AVWS, eingeteilt nach Richtungshören (8 Kinder - gutes Ergebnis, 7 Kinder – unterdurchschn. Ergebnis), in mSek	64
22.	4.2.10.2	Statistische Auswertung der Latenz DN1 (binauralen Fusion) von 15 Kindern mit AVWS, 7 Kinder mit schlechtem, 8 Kinder mit gutem Richtungshören mittels Mann-Whitney-U-Test, (*= $p \leq 0,05$ , **= $p \leq 0,01$ )	65
23.	4.2.10.3	Korrelation Richtungshören mit DN1 der binauralen Fusion bei 15 Kindern mit AVWS mittels Korrelation nach Spearman (*= $p \leq 0,05$ , **= $p \leq 0,01$ )	65
24.	4.2.10.4	Statistische Auswertung der Latenzen der bin. Fusion von 20 Kindern ohne AVWS, 5 mit schlechtem und 15 mit gutem Richtungsgehör mittels Mann-Whitney-U-Test, (*= $p \leq 0,05$ , **= $p \leq 0,01$ )	66
25.	4.2.11.1	Die analysierten Untersuchungsmethoden und ihre Signifikanz im Überblick	67
26.	4.3.1	Sensitivität, Spezifität, PPV und NPV aller ausgewerteten Untersuchungsmethoden sowie die Auswertung unterschiedlicher Diagnosekriterien, Angabe in Prozent, n= Anzahl der jeweils ausgewerteten Patienten	68

## **c. Lebenslauf**



## **d. Ehrenwörtliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

Herr Dr. Ing. Braunschweig  
Herr Prof. Dr. med. Koscielny

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Erfurt,

## **e. Danksagung**

Für das Gelingen meiner Doktorarbeit schulde ich vielen Menschen dank, die mich unterstützt und geleitet haben.

Ich danke meinem physikalischen Betreuer Herrn Dr. Ing. Braunschweig für das stets offene Ohr, die vielen Gespräche, Hilfestellungen und Diskussionen zur Bewältigung des Themas. Einen Dank gilt weiterhin meine Doktorvater Herrn Prof. Dr. Koscielny für die Betreuung zum Gelingen meiner Arbeit.

Auch möchte ich mich bei Frau Schade und Frau Steenbeck für die vielen Tipps und Erklärungen zu den einzelnen Testverfahren sowie die Ermöglichung einiger Selbstversuche bedanken.

Ein riesiges Dankeschön gilt Dir, Yasser, für die mehrmalig rettende Hilfe in der Not. Ohne Deine Tipps und Berechnungen hätte ich das ganze wohl nie abschließen können! Auch hast Du mich spontan in den letzten Zügen unterstützt, als ich von anderen Seiten eher alleine gelassen wurde. Ohne Dich hätte diese Arbeit als auch die Verteidigung nie so einen guten Abschluss gefunden! Ich danke Dir sehr.

Weiterhin möchte ich meinem Freund und meinen Eltern danken, die mich nicht nur stets moralisch unterstützt, sondern sich auch durch die langen Seiten zum Korrekturlesen gequält haben. Mario, in meiner Verzweiflung über Statistikprobleme, Layoutfragen oder sonstige Kniffligkeiten hast Du mir nicht nur mit Deinem Wissen und Deinen Gedanken beiseite gestanden, sondern hast auch manche Launen in dieser Zeit ertragen. Du bist stets an meiner Seite, gibst mir Halt und stärkst mir den Rücken. Ohne Dich hätte ich das ganze wahrscheinlich nicht so geschafft! Danke Papa für die Hilfe und die viele Zeit, die Du Absatz für Absatz in die Korrektur der vielen Seiten gesteckt hast. Es tut gut zu wissen, dass Du und Mama auch in den schwierigen Momenten an mich geglaubt habt!

Als mein steter Fels in der Brandung möchte ich euch meine Doktorarbeit als Dank widmen.